

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEVCUT BİNALARIN CEPHELERİNDE DIŞTAN ISI YALITIMI
UYGULAMALARININ İSTANBUL'DA ALANDA İNCELENMESİ VE
HİGROTERMAL PERFORMANSIN BENZETİMLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşegül EKŞİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojileri Programı

EYLÜL 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEVCUT BİNALARIN CEPHELERİNDE DIŞTAN ISI YALITIMI
UYGULAMALARININ İSTANBUL'DA ALANDA İNCELENMESİ VE
HİGROTERMAL PERFORMANSIN BENZETİMLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ayşegül EKŞİ
502131501**

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojileri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hülya KUŞ

EYLÜL 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502131501 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ayşegül EKŞİ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “MEVCUT BİNALARIN CEPHELERİNDE DIŞTAN ISI YALITIMI UYGULAMALARININ İSTANBUL'DA ALANDA İNCELENMESİ VE HİGROTERMAL PERFORMANSIN BENZETİMLE DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Hülya KUŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Cem ALTUN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Erkan AVLAR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 6 Eylül 2016
Savunma Tarihi : 23 Eylül 2016





Anneme ve babama,



ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bana yol gösteren ve destek olan, yorum ve önerileriyle tezime katkı sağlayan danışmanım, değerli hocam Sayın Prof. Dr. Hülya Kuş'a...

Hayatım boyunca bütün çalışmalarımı destekleyen ve her zaman yanımda olan sevgili babam Halil Ekşi'ye, sevgili annem Nebahat Ekşi'ye, sevgili abilerim Erol ve Kerim'e, ablam Fatma Kurban Ekşi'ye, enerjileri ve neşeleriyle beni motive eden biricik yeğenlerim Yağmur ve Mert'e...

Bu süreçte desteklerini sürekli hissettiğim Gülnur Alpsoy'a, Ahmet Kılıçaslan'a, Büşra Eda Yazar'a, Ayşenur Kocaaslan'a, Hatice Dağaslanı'ya ve Beyza Gümüş'e teşekkürlerimi sunarım.

Eylül 2016

Ayşegül Ekşi
Mimar



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Tezin Kapsamı.....	3
1.3 Tezin Yöntemi.....	3
2. DIŞ DUVARLARDA ISI YALITIMI.....	5
2.1 Dış Duvarlarda Isı Yalıtımı Uygulamaları	6
2.1.1 İki duvar arası ısı yalıtımı uygulamaları	6
2.1.2 Havalandırmalı ısı yalıtımı uygulamaları	7
2.1.3 İçten ısı yalıtımı uygulamaları	8
2.1.4 Dıştan ısı yalıtımı uygulamaları	9
2.2 Türkiye’de mevcut binalarda dıştan ısı yalıtım uygulamaları.....	11
2.3 Isı Yalıtımı Konusuyla İlgili Mevzuat	13
2.3.1 Isı yalıtımı performansına yönelik mevzuat.....	13
2.3.1.1 Binalarda ısı yalıtım kuralları (TS 825)	14
2.3.1.2 Binalarda enerji performansı (BEP) yönetmeliği.....	14
2.3.2 Isı yalıtımı malzemelerine yönelik mevzuat	15
2.3.3 Dıştan ısı yalıtımı uygulamalarına yönelik mevzuat.....	18
2.3.3.1 Dıştan ısı yalıtımlı ve sıvalı kompozit sistemler (ETICS)	18
2.3.3.2 ETICS uygulama kılavuzu (ETAG 004).....	19
3. DIŞ DUVARLARDA HİGROTERMAL (ISIL VE NEMSEL) PERFORMANS	23
3.1 Dış Duvarlarda Isı ve Nem	24
3.1.1 Nemin dış duvara girişi	24
3.1.2 Isı ve nem geçiş yolları	26
3.1.3 Isı ve nemin ısı yalıtımına etkisi	28
3.2 Hıgrotermal Performansın Değerlendirilmesi	29
3.2.1 Hıgrotermal performansın hesaplama yöntemiyle değerlendirilmesi	29
3.2.1.1 Elle hesaplama yöntemleri	31
3.2.1.2 Benzetimle hesaplama yöntemleri	34
3.2.2 Benzetim araçları	36
3.2.3 WUFI 2D benzetim aracı	36
3.2.3.1 WUFI 2D benzetim aracının girdileri	38
3.2.3.2 WUFI 2D benzetim aracının çıktıları.....	40

3.3 Hıgrotermal Performans İle İlgili Yapılmış Çalışmalar	41
3.3.1 Hıgrotermal performansın benzetim yöntemiyle belirlenmesi.....	41
3.3.2 Hıgrotermal performansın test ve benzetim yöntemiyle belirlenmesi	44
4. İSTANBUL ÇAPA SEMTİNDEKİ MEVCUT BİNALARIN DIş DUVARLARINDA DIşTAN ISI YALITIMI UYGULAMALARI – ALAN ÇALIşMASI	49
4.1 Binaların Dış Duvarlarındaki Mevcut Dış Kaplamaların Tespiti.....	51
4.2 Uygulamalarda Kullanılan Isı Yalıtımı ve Kaplama Malzemelerinin Tespiti..	52
4.3 Uygulamaya yönelik tespitler	55
5. BENZETİM ÇALIşMASI.....	61
5.1 Hesaplama Hassasiyetinin Belirlenmesi.....	61
5.1.1 Ağ sayısının belirlenmesi	62
5.1.2 Kesitlerin katmanlaşması ve duvar malzemesinin seçimi.....	64
5.1.3 Başlangıç, iklim ve iç ortam koşullarının belirlenmesi	64
5.2 Uygulama Örnekleri	65
5.2.1 Mevcut durumdaki kaplama malzemelerine göre modellenen örnekler ...	66
5.2.2 Uygulamada kullanılan ısı yalıtımı ve son kat kaplama malzemelerine göre modellenen örnekler	67
5.3 Kesitleri Oluşturan Malzemelerin Özelliklerinin Belirlenmesi.....	71
5.4 Başlangıç Koşullarının Belirlenmesi	72
5.5 İklim Verilerinin ve İç Ortam Koşullarının Belirlenmesi	73
5.6 Hesaplama Kriterlerinin Belirlenmesi	75
5.7 Hesaplamanın Başlatılması ve Sonuçların Alınması.....	76
5.8 Benzetim Sonuçlarının Değerlendirilmesi	78
5.8.1 Dış duvarların mevcut durumlarının hıgrotermal performansı	78
5.8.2 Dıştan ısı yalıtımı yapılan yüzeylere göre hıgrotermal performans	85
5.8.3 Isı yalıtımı malzemesine göre hıgrotermal performans.....	88
5.8.4 Son kat kaplama malzemesine göre hıgrotermal performans	93
5.9 Sonuçların Tartışılması.....	95
5.9.1 Alan çalışmasının tartışılması	95
5.9.2 Benzetim çalışması sonuçlarının tartışılması	97
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	101
KAYNAKLAR.....	105
ÖZGEÇMİş	111

KISALTMALAR

ETICS	: External Thermal Insulation Composite Systems
ETAG 004	: European Technical Approval Guideline 004
EOTA	: European Organisation for Technical Approvals
CPD	: Construction Products Directive
BEP	: Binalarda Enerji Performansı yönetmeliği
CHMC	: Canada Mortgage and Housing Corporation
ORNL/IBP	: Oak Ridge National Laboratory/ Institute for Building Physics
WUFI	: Wärme Und Feuchte Instationär
VIP	: Vacuum Insulation Panel
EPS	: Expanded Polystyrene
XPS	: Extruded Polystyrene



SEMBOLLER

ρ	: Yoğunluk
λ	: Isıl İletkenlik
c	: Özgül ısı kapasitesi
μ	: Su buharı difüzyon direnci





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Isı yalıtım malzemelerinin özellikleri.....	15
Çizelge 5.1 : EPS kaplamalı durum için modellenen kesitlerin katman ve kodları ..	69
Çizelge 5.2 : XPS kaplamalı durum için modellenen kesitlerin katman ve kodları..	70
Çizelge 5.3 : Dış duvar katmanları için tanımlanan malzeme özellikleri	72
Çizelge 5.4 : Dış duvar katmanlarını oluşturan malzemelerin başlangıç koşulları..	73
Çizelge 5.5 : Dış ortam koşullarına ait veriler	74
Çizelge 5.6 : Hesaplama matrisi	77
Çizelge 5.7 : Dış duvarların mevcut durumlarına göre kontrol kesitleri	78
Çizelge 5.8 : Dıştan ısı yalıtımı yapılan yüzeylere göre kontrol kesitleri	86
Çizelge 5.9 : Isı yalıtımı malzemesine göre kontrol kesitleri	89
Çizelge 5.10 : Son kat kaplama malzemesine göre kontrol kesitleri	93



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Nemin dış duvara girişi	25
Şekil 3.2 : Bir bina malzemesinin gözeneklerinde karşıt yönlerde artan bağıl nem ve buhar basıncı etkisiyle gerçekleşen nem hareketi	27
Şekil 3.3 : Nemli bir malzeme içindeki boşlukta ısı akış mekanizması	29
Şekil 3.4 : Higrotermik (ısı ve nemsel) modelleme.....	35
Şekil 3.5 : WUFI yazılımının arayüzü	37
Şekil 4.1 : Çapa'da alan çalışması yapılan bölge	50
Şekil 4.2 : İstanbul Çapa bölgesinde gözlemlenen binaların yerleşim düzeni	50
Şekil 4.3 : İstanbul Çapa bölgesinde gözlemlenen binaların tipolojisi.....	51
Şekil 4.4 : Sıva ve mermer mevcut duvar kaplamaları.....	52
Şekil 4.5 : Cam mozaik ve seramik mevcut duvar kaplamaları	52
Şekil 4.6 : Alandaki binalara uygulanan EPS ve XPS ısı yalıtım malzemesi.....	53
Şekil 4.7 : Dıştan ısı yalıtımı üzerine sıva ve boya uygulaması	54
Şekil 4.8 : Dıştan ısı yalıtımı üzerine seramik kaplama uygulaması	54
Şekil 4.9 : Prekast yalıtım levhası ile ısı yalıtımı üzeri sıva kaplama uygulaması....	55
Şekil 4.10 : Mermer üzerine ısı yalıtımı uygulaması.....	57
Şekil 4.11 : Sıva ve seramik yüzeyler üzerine ısı yalıtımı uygulaması	57
Şekil 4.12 : Cam mozaik üzerine ısı yalıtımı uygulaması	58
Şekil 4.13 : Dıştan ısı yalıtım uygulamalarındaki malzemelerdeki hasarları	58
Şekil 4.14 : Dıştan ısı yalıtımı uygulama hataları.....	59
Şekil 4.15 : Zemin katlarda ısı yalıtımı uygulamasının yapılmadığı durumlar	59
Şekil 5.1 : Benzetim çalışması için modellenen mevcut dış duvar kesitleri.....	67
Şekil 5.2 : İstanbul iline ait güneşlenme ve yağmur yönü grafikleri	74
Şekil 5.3 : EN 15026 standardına göre sağlanması gereken iç ortam koşulları	75
Şekil 5.4 : Duvar kesiti üzerinde hesaplama sonuçları değerlendirilen bölgeler.....	76
Şekil 5.5 : K (kontrol) ve CM (mozaik kaplamalı) duvar katmanlarının yılın en sıcak ve en soğuk günlerindeki sıcaklık ve bağıl nemi.....	80
Şekil 5.6 : Duvar alternatiflerinin dış sıva katmanlarının mevcut durumdaki su içeriği ve bağıl nem miktarlarının karşılaştırması	82
Şekil 5.7 : K kontrol duvarı ile CM cam mozaik kaplamalı duvarın tuğla katmanlarının mevcut durumda bağıl nem miktarındaki değişim.....	84
Şekil 5.8 : Duvar iç sıva katmanlarının mevcut durumda bağıl nem miktarındaki değişim	85
Şekil 5.9 : K-Es ve CM-Es kodlu dış duvar katmanlarının yılın en sıcak ve en soğuk günlerindeki sıcaklık ve bağıl nemi.....	87
Şekil 5.10 : K-Es ve CM-Es kodlu dış duvarlardaki çimento dış sıva katmanlarının higrotermal performansı	88
Şekil 5.11 : Dıştan EPS ya da XPS ve son kat sıva uygulaması yapılmış dış duvarların ısı yalıtım katmanlarının su içeriği.....	90
Şekil 5.12 : Dıştan EPS ya da XPS ve son kat sıva uygulaması yapılmış dış duvarların ısı yalıtım katmanlarının bağıl nemi	92

Şekil 5.13 : Dıştan EPS ve son kat sıva ya da seramik uygulaması yapılmış dış duvarların EPS katmanlarının bağıl nemi.....	94
Şekil 5.14 : Dıştan EPS ve son kat sıva ya da seramik kaplama uygulaması yapılmış dış duvarların dış sıva katmanlarının bağıl nemi.....	95



MEVCUT BİNALARIN CEPHELERİNDE DIŞTAN ISI YALITIMI UYGULAMALARININ İSTANBUL'DA ALANDA İNCELENMESİ VE HİGROTERMAL PERFORMANSIN BENZETİMLE DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Dünyada gittikçe artan enerji tüketiminin sonuçlarının çevreye verdiği zararları en aza düşürmek ve gelecek nesillere yaşanabilir kentler bırakabilmek için dünya genelinde çeşitli önlemler alınmaktadır. Bu kapsamda, bina sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme ve etkin enerji kullanımını sağlama konularında çeşitli resmi kuruluşlar ve sivil toplum kuruluşları tarafından projeler üretilmektedir. Ayrıca, enerji tasarrufu konusunda bina üretici ve kullanıcılarında farkındalık yaratma çalışmaları sürdürülmektedir. Binaların enerji tüketiminin azaltılması için yapılması gereken çalışmalardan biri, bina kullanım sürecinde ısıl konforun sağlanması için tüketilen enerjinin en aza düşürülmesinin sağlanmasıdır. Bu amaçla, bina kabuğunun ısı korunumunu sağlamak için bileşenlerde gerçekleşen kayıplar en aza indirilmeli ve bileşenler beklenen performansı gerçekleştirecek şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca, bina kabuğunun ısıl performansından bahsederken, nemsel performansı göz ardı edilmemelidir. Çünkü; bina kabuk bileşenlerinin ısıl ve nemsel davranışları birbiriyle ilişkili iki etkindir ve sadece birinin kontrol altında tutulması durumunda kabuktan istenilen performansın elde edilmesi olanaklı değildir.

Bu tez çalışmasının ilk bölümünde, çalışmanın amacı, kapsamı ve yöntemi anlatılmıştır. İkinci bölümde, Türkiye’de son dönemlerde enerji verimliliği kapsamında yapılan çalışmaların getirdiği yasal zorunlulukların ve konut ölçeğinde yakıt tasarrufu sağlama ihtiyaçlarının etkisiyle dıştan ısı yalıtım uygulamalarının yaygınlaşması konusu ele alınmıştır. Üçüncü bölümde, bina kabuğunun enerji performans gereksinimlerinden olan ısıl ve nemsel (higrotermal) performans tanımlanmış ve higrotermal performansın dış duvar yalıtımıyla ilişkisinden bahsedilmiştir. Ardından, bina bileşenlerinin higrotermal performansının hesaplanma yöntemlerine değinilmiştir ve higrotermal performansın benzetim yöntemiyle hesaplanmasında kullanılan benzetim araçlarından biri olan WUFI 2D tanıtılmıştır. Higrotermal performansın benzetim ve deney yöntemleri kullanılarak araştırıldığı yurtiçinde ve yurtdışında yapılmış bazı özgün çalışmaların kısa özetleri verilmiştir. Dördüncü bölümde, tezin alan çalışması kapsamında İstanbul Çapa semtinde gözlemlenen dıştan ısı yalıtımı uygulamalarına yer verilmiştir. Bu bölgede dıştan ısı yalıtımı uygulaması yapılan binaların mevcut duvar yüzeylerinde cam mozaik, seramik, mermer gibi su geçirmez özellikte kaplamalar, ve uygulamalarda ısı yalıtımı malzemesi olarak çoğunlukla geliştirilmiş polistiren (EPS) ve bazı örneklerde çekme polistiren (XPS) levhalar kullanıldığı görülmüştür. Yapılan uygulamalarla ilgili araştırma tespitleri yapılmış ve kontrol parametreleri belirlenmiştir. Tezin benzetim çalışmasını oluşturan beşinci bölümünde, alan çalışmasında gözlemlenen örneklerden yola çıkılarak, benzetim yöntemiyle higrotermal performans

hesaplaması yapmak üzere örnek duvar kesitleri oluşturulmuştur. Oluşturulan kesitler farklı parametrelerle çeşitlendirilerek lisanslı bir yazılım olan WUFI 2D 3.3 benzetim aracında modellenmiştir. Daha sağlıklı ve güvenilir sonuçlar elde etmek amacıyla, modelleme ve benzetim süreçlerinin etkin ve doğru kullanımı için önce ön hazırlık ve doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda, programın kısıtlamaları, benzetimin girdileri ve çıktıları üzerine denemeler ve karşılaştırmalar yapılarak optimum sürede en uygun sonuçların elde edilmesine yönelik ön kararlar alınmıştır. Duvar kesitlerinin ısı yalıtımsız, ısı yalıtımlı, ve çeşitli kaplamalara göre farklı alternatiflerinin yıl içinde belirli zaman aralıklarında, İstanbul iklim koşulları altındaki higrotermal performansı hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları karşılaştırılarak, her bir kesitin uzun dönemdeki higrotermal performansı değerlendirilmiştir. Altıncı bölümde ise, İstanbul Çapa bölgesinde yapılan apartman ölçeğindeki mevcut binalara dıştan ısı yalıtımı uygulamaları ile ilgili tespitler ve higrotermal performansın hesaplanmasından elde edilen sonuçlar ve öngörüler tartışılmıştır. Bu tez çalışmasının, bu konuyla ilgili ileride yapılacak araştırmalar için bir referans olması düşünülmüştür.



RESEARCH ON EXTERNAL THERMAL INSULATION APPLICATIONS ON THE OUTER WALLS OF EXISTING BUILDINGS IN A DISTRICT IN ISTANBUL AND EVALUATION OF HYGROTHERMAL PERFORMANCE VIA SIMULATION

SUMMARY

Some precautions have been taken all around the world in order to minimize the results of increasing energy consumption and leave future generations habitable cities. In this respect, projects on inclining towards renewable energy sources in construction sector and providing effective use of energy have been made by some official institutions and non-governmental organizations. Besides, studies on raising awareness of energy saving in the manufacturers and users of buildings have continued. One of the studies that needs to be made to decrease the energy consumption in the buildings is to ensure that the energy consumed for thermal comfort is minimized. With this aim, the losses taking place in elements must be reduced to minimum to provide heat protection in the buildings, and the elements must be designed in a way to perform the expected performance. Moreover, while talking about thermal performance of the building envelope, moisture performance shouldn't be ignored as thermal and moisture behavior of the building envelope elements are two connected factors, and as it is not possible to obtain the expected performance of the envelope by keeping only one of them under control.

In the first chapter of this thesis, the aim, scope, and method of the study is explained. In the second chapter, the proliferation of external thermal insulation with the effect of legal obligations imposed by researches recently made in Turkey on the area of energy productivity and the needs of providing fuel preservation within residences is dealt with. In the third chapter, hygrothermal performance, which is one of the energy performance requirements of the building envelope, is defined, and the correlation between hygrothermal performance and external wall insulation is clarified. Afterwards, the methods of calculating hygrothermal performance of building elements are stated, and WUFI 2D, one of the simulation tools used in the calculation of hygrothermal performance via simulation method, is presented. Short summaries of some original studies conducted within and out of the country, in which hygrothermal performance is researched by using simulation and experimentation methods, are given. In the fourth chapter, external thermal insulation practices observed in Istanbul Capa district within the scope of the thesis are dealt with. It has been seen that in this region, in the existing wall surface of buildings where external thermal insulation is applied, waterproof coatings, such as glass mosaic, ceramics and marble are used, and plates mostly made of expanded polystyrene (EPS) and in some cases, extruded polystyrene (XPS) are preferred as thermal insulation material in the applications. Research findings on the applications in use have been reached, and control parameters have been determined. In the fifth chapter, which is about the simulation study of the thesis, sample wall sections have been formed by taking the samples observed in the field study into consideration in

order to calculate the hygrothermal performance via simulation method. The sections have been diversified with different parameters and modelled in WUFI 2D 3.3 simulation tool, which is a licensed software. With the aim of obtaining more sound and reliable results, firstly preliminary preparation and verification studies have been made for effective and correct usage of modeling and simulation processes. In these studies, preliminary decisions on obtaining the most convenient results within the optimum duration have been taken by means of making tests and comparisons on the restrictions of the program and the input and output of the simulation. Hygrothermal performance of the wall sections that are varied depending on the existing wall coating and different insulation materials in Istanbul climatic conditions have been calculated within the intervals during the year. Long-term hygrothermal performance of each section has been evaluated by comparing the calculation results. In the sixth chapter, findings about the thermal insulation applications on apartment blocks in Istanbul Capa district and the results and predictions obtained by the calculation of the hygrothermal performance have been analyzed. It is expected that this thesis will be a reference for future studies in the area.



1. GİRİŞ

Günümüzde hızla çoğalmaya devam eden dünya nüfusunun artan enerji ihtiyacı, petrol, doğalgaz ve kömür gibi kaynakların yüksek miktarlarda hızlı tüketimine neden olmaktadır. Yüksek miktarlardaki kaynak tüketimi ise, ekonomik ve politik sorunların yanı sıra çevresel sorunlara yol açmaktadır. Büyüme hızı bu şekilde devam ederse, 2050 yılına ulaşıldığında enerji tüketiminin ve buna bağlı olarak atmosferdeki CO² miktarının şimdiki durumun üç katına çıkması tahmin edilmektedir. Bu durum, küresel ısınmanın gittikçe artması ve dünya genelinde büyük oranda iklimsel değişimlerin yaşanması anlamına gelmektedir. İnşaat sektörü, yüksek orandaki enerji tüketimi ve sera gazı salımı ile çevreye olumsuz etkisi en fazla olan sektörlerden biridir. Bu yüzden çevresel sorunların gittikçe arttığı son dönemlerde teknolojik gelişimlerin; bina malzemesi üretimi, bina yapım, kullanım ve kullanım sonrası süreçlerini çevreye en az zarar verecek şekilde gerçekleştirmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla yapılan çalışmalardan biri, binanın hizmet süresi boyunca ısı konforunun sağlanması için tüketilen enerjinin en aza düşürülmesi ve binalarda enerji etkinliğinin sağlanmasıdır. Binalarda enerji etkinliğinin sağlanmasındaki tasarım ölçütlerinin en önemlisi ise, dış iklimsel çevre ile iç iklimsel çevreyi birbirinden ayırarak iç çevrede istenilen konfor koşullarının korunmasını sağlayan bina kabuğunun pasif tasarımıdır (Richarz & Schulz, 2013).

Binalarda konforlu bir iç çevre oluşturmak için tasarlanan enerji etkin bir bina kabuğu, dış ortamdaki olumsuz hava koşullarına karşı bir koruma sistemi içermelidir. Belirli bir bölgede yaygın olan mimari, o bölgede baskın olan ve yıllık döngüler boyunca süregelen olumsuz çevresel etkileri önleyecek şekilde gelişir. Örneğin, soğuk bir iklim bölgesinde, bina kabuğu tasarımının amacı iç ortamda konfor sıcaklığına kadar ısıtılmış olan taze havayı korumaktır. Sıcak bir iklimde bina kabuğu tasarımının amacı ise, iç ortamdaki hava sıcaklığının çok fazla artmasını engelleyecek olan gölgelenmeyi sağlarken, iç ortamda mekanik sistemlerle soğutulmuş olan taze havayı korumaya yetecek olan yalıtımı sağlamaktır. Binalarda konforlu bir iç çevre oluşturmak amacıyla bina kabuğuna uygulanan ısı yalıtımının

etkinliği ve bina kabuğu sistemine uygunluğu, bina kabuğunun enerji etkinliği ile doğrudan bağlantılıdır. Bina kabuğunda etkin bir ısı yalıtımının sağlanması için ise, kabuk bileşenlerinde gerçekteşmesi beklenen ısı ve nem hareketliliğinin etkisi birlikte düşünölmelidir (Yu, 2014).

Bina kabuğundaki nem hareketleri ve ısı hareketleri birbirleriyle doğrudan ilişkilidir. Bu durum, bina kabuğunun ısı ve nemsel (higrotermal) performansı olarak tanımlanmaktadır. Çok katmanlı bir bina kabuğunda higrotermal performans, daha karmaşık bir performans ölçütü olarak karşımıza çıkmaktadır. Bina kabuğundaki ısı kayıp ve kazançları, hava sızıntıları ve nem geçişleri bina kabuğunu oluşturan bütün katmanlardaki malzemelerin karakteristik özelliklerinden etkilenmektedir. Bu nedenle, bina kabuğunu oluşturan bütün malzemelerin performansı tasarım ve yapım aşamasında bütöncöl bir yaklaşımla ele alınmalıdır (Bomberg & Shirliffe, 2014).

Bina kabuğu yalıtımının en önemli kısmını dış duvar yalıtımı oluşturmaktadır. Bugün, Avrupa’da çok sayıda bina hizmet ömrünü tamamlamak üzeredir. Bu yüzden, düşük maliyetli ve pratik uygulamalı olan dıştan ısı yalıtımlı kompozit ve sıvalı sistemlerin (ETICS); mevcut bina stoğunun enerji etkinliğini attırmak ve hizmet ömrünü uzatmak amacıyla kullanımının yaygınlaştığı görölmektedir (Liismaa, Löhmus, & Raado, 2015). Türkiye’deki durumun da aynı olduğu söylenebilir. Son yıllarda, “Enerji Verimliliği Kanunu” ve buna bağlı olarak yayınlanan “Binalarda Enerji Performansı” yönetmeliğinin getirdiği yasal zorunlulukların ve artan enerji tasarrufu ihtiyacının etkisiyle mevcut binalarda dıştan ısı yalıtımı (mantolama) uygulamaları yaygınlaşmıştır. Bu uygulamaların bir kısmının, ilgili standart ve yönetmeliklerdeki esaslara uygun olmadığı dikkat çekmektedir. Ayrıca, İstanbul’da bazı bölgelerde dıştan ısı yalıtım uygulamalarının binaların mevcut duvar yüzeylerindeki cam mozaik, seramik, ve mermer gibi geçirimsiz kaplamalar üzerine yapıldığı gözlemlenmektedir. Bu ve benzer şekilde yapılan uygulamaların, bina kabuğunun higrotermal performansı üzerindeki olumlu veya olumsuz etkilerinin araştırılması önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Tez çalışmasının öncelikli amacı, mevcut binaların geçirimsiz dış kaplamaya sahip olan dış duvarlarının dıştan ısı yalıtımı uygulamalarıyla iyileştirilmesi sonrasında gösterdikleri higrotermal performansın hesaplanması ve elde edilen sonuçlar

aracılığıyla yapılan uygulamaların enerji etkinliğinin değerlendirilmesidir. Mevcut uygulamalardan yola çıkılarak yapılan çalışmada; benzetimle hesaplama yönteminin, dış duvarlara yapılan dıştan ısı yalıtım uygulamalarının higrotermal performans üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılma olanaklarının ve etkin hesaplama yapabilmek için dikkat edilmesi gereken ölçütlerin araştırılması hedeflenmiştir.

1.2 Tezin Kapsamı

Tez çalışması; (i) dış duvarlarda ısı yalıtımı uygulamaları ve higrotermal performans konularının araştırılması, (ii) alanda gözlem ve tespit çalışmaları ve (iii) bilgisayarlı benzetim yöntemiyle higrotermal performans değerlendirme çalışmaları olarak üç ana başlıkta ele alınmaktadır. Dış duvarlarda ısı yalıtımı uygulamaları ve higrotermal performans konularının kapsamı; mevcut binalarda yapılan dıştan ısı yalıtım uygulamaları ile dış duvarlarda higrotermal performansın değerlendirilme yöntemlerinin araştırılmasıdır. Alanda gözlem ve tespit çalışmaları; Çapa bölgesinde gözlemlenen binaların seramik, mermer, cam mozaik gibi geçirimsiz kaplamaya veya sıva kaplamaya sahip dış duvarlarına yapılan dıştan ısı yalıtım uygulamalarıyla sınırlandırılmaktadır. Benzetim çalışmasının kapsamı; alanda gözlemlenen mevcut duvar tiplerinden ve ısı yalıtımı uygulamalarından yola çıkılarak, dış duvarların higrotermal performansının mevcut duruma ve ısı yalıtımı uygulamasından sonraki duruma göre değerlendirilmesidir.

1.3 Tezin Yöntemi

Konu araştırmasında izlenen yöntem literatür taramasıdır. Referans kitaplardan, bilimsel makale ve bildirilerden, kurumsal raporlardan, standart ve yönetmeliklerden yararlanılmaktadır. Alan çalışmasında izlenen yöntem gözleme dayalı tespitlerde bulunma ve uygulayıcı bir firmayla yapılan görüşmedir. Benzetim çalışmasında izlenen yöntem ise, bilgisayarlı benzetim aracı ile hesaplama yapmaktır. Kullanılan benzetim aracı lisanslı bir yazılım olan WUFI 2D 3.3'tür.



2. DIŞ DUVARLARDA ISI YALITIMI

Dış duvarlar, binaları olumsuz dış iklim koşullarına karşı koruyan ve iç mekanları dış ortamdan sınırlayan dıőey düzlemsel bina elemanlarıdır. Dış duvarların ana bileşeni, bulunduğu yere ve görevine göre taşıyıcı ya da taşıyıcı olmayan bir duvar gövdesidir. Bu bölümde, taşıyıcı olmayan kagir bir duvar gövdesinin kendisinden beklenen ısı ve nemsel performansı karşılamak üzere katmanlaőmasından bahsedilmektedir.

Dış duvarlarda kagir gövdeyi oluşturan bölüm dolu, gözenekli, delikli ya da boşluklu olmak üzere üç grupta toplanabilir. Gözenekli kagir elemanların genellikle iyi bir ısı geçirme direnci gösterdiği bilinmektedir. Delikli ya da boşluklu kagir elemanlar bünyelerinde hava barındırdığı için ısı direnç açısından dolu gövdeli kagir elemanlara göre daha iyidir. Bir diğer olumlu özellik, boşluklu kagir elemanların hacimsel yoğunluğu daha düşük olduğu için daha büyük elemanlarla duvar yapımının ve daha az derz kullanımının mümkün olmasıdır. Bu olumlu özelliklerinin yanında, delikli ya da boşluklu kagir elemanların su buharı difüzyonuna ve nem geçişine karşı daha az direnç göstermesi nemle ilgili bazı problemlere neden olabilmektedir. Delikli ya da boşluklu kagir duvar elemanlarının bünyesindeki su buharı miktarı, kılcal emme (kapiler) yoluyla aldığı nem miktarı ve buna bağlı olarak yoğuşma ihtimali artar. Duvarın ıslanmasıyla, baőlangıçta fazla olan ısı korunumu düzeyi zamanla azalabilir. Dış duvar ısı korunumu düzeyini; konstrüksiyon kalınlığını ya da ağırlığını arttırmadan yükseltebilmek için duvar sistemine ısı yalıtımı sağlayan katmanların eklenmesi gerekmektedir. Çok katmanlı yapım sistemi, bu ve benzeri nedenlerle ortaya çıkmıştır (İlgaz, 1979).

Binaların dış duvarları için farklı ısı yalıtımı uygulama yöntemleri ve bu yöntemlerin etkin bir şekilde uygulanması için yayınlanan çeşitli yönetmelik ve standartlar bulunmaktadır. Bu bölümde dış duvarlarda ısı yalıtımı konusu ele alınmaktadır. Alt bölümlerde, öncelikle dış duvarlarda ısı yalıtımı uygulama yöntemleri ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. İkinci olarak, bina yalıtımının Türkiye’deki gelişimi kısaca anlatılmaktadır. Özellikle, Türkiye’de son yıllarda yaygınlaşan mevcut binalarda dıştan ısı yalıtımı yöntemi üzerinde durulmaktadır. Üçüncü olarak, dıştan ısı yalıtım

yöntemiyle ilgili performans ölçütlerini ve uygulama esaslarını içeren mevzuattan bahsedilmektedir.

2.1 Dış Duvarlarda Isı Yalıtımı Uygulamaları

Dış duvarların yalıtımında kullanılan yöntemler; içten ısı yalıtımı, iki duvar arası ısı yalıtımı (sandviç), havalandırılmalı dış duvar ısı yalıtımı ve dıştan ısı yalıtımı olmak üzere dört gruba ayrılabilir. Son yıllarda, Türkiye’de mevcut binalarda dıştan ısı yalıtımı uygulamalarının yaygınlaştığı görülmektedir.

Bu bölümde, dış duvar sistemlerinde kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin dış duvarda konumlandırıldığı yere göre farklı uygulama yöntemlerinden bahsedilmektedir. Alt bölümlerde; iki duvar arası ısı yalıtımı uygulamaları, havalandırılmalı ısı yalıtımı uygulamaları ve içten ısı yalıtımı uygulamaları ile tez çalışmasının alan araştırması kısmını oluşturan dış duvarlarda dıştan ısı yalıtımı uygulamaları anlatılmaktadır.

2.1.1 İki duvar arası ısı yalıtımı uygulamaları

Dış duvarı oluşturan iki ayrı duvar gövdesi arasına ısı yalıtımı malzemesi uygulanmasıyla oluşan dış duvarlar, ortadan ısı korunumlu ya da sandviç duvarlar olarak da bilinmektedir. Bu sistemde ısı yalıtımı tabakası, iki masif duvar gövde katmanı arasında yer almaktadır. Dış bölümde kalan masif katman, ısı yalıtımını yağış etkisi gibi atmosferik koşullardan korurken; iç bölümde kalan masif katman iç ortam iklim dengesini sağlayıcı özellik göstermektedir (Yücesoy, 1998).

Her iki masif katman birbirine metal bağlayıcılar, beton çerçeveler gibi elemanlarla bağlanmak zorunda olduğundan; bu bağlantılar ısı köprüleri oluşturmakta ve yalıtımın ısı korunum değerini düşürmektedir. Ayrıca ısı yalıtımının dış bölümdeki masif katmana göre biraz daha içerdeki konumu, içten yalıtımlı duvardakine benzer, yoğunlaşma riski oluşturabilmektedir. Dış ortamdaki masif katman sıcaklık değişimlerinden fazla etkileneceğinden, bünyesinde meydana gelecek gerilimleri karşılamak için duvar üzerinde belirli aralıklarla genleşme derzlerinin bulunması gerekmektedir. Bu durum, iç ve dış masif katmanlar arasındaki bağlantıların daha esnek tasarlanması gerektiği anlamını taşır.

İki duvar arası uygulanan ısı yalıtımında, dış masif katman ile onu takip eden diğer katmanlar arasında higrotermik davranış açısından bir uyum olması gerekir. Örneğin; sert ısı yalıtım levhalarının kullanıldığı durumlarda dış masif katman için düşük difüzyon direncine sahip bir malzeme seçilmesi gerekirken, ısı yalıtım malzemesinin dökülerek ya da doldurularak uygulandığı durumlarda difüzyon direnci yüksek bir malzemenin seçilmesi uygun olmaktadır. Ayrıca, ısı yalıtım malzemesinin doldurularak uygulandığı durumlarda iki duvar arasındaki boşluğun en alt kotunda etkin bir su yalıtım uygulaması ile zeminden kapiler yolla gelebilecek nemin kesilmesi ve dolgu yalıtım malzemesinin kuru kalması sağlanmalıdır (İlgaz, 1979).

Tüm bu durumlar düşünüldüğünde, iki duvar arası ısı yalıtım sistemlerinin etkin olarak uygulanmasının güç olduğu görülmektedir. Ayrıca iki duvar arasına uygulanan ısı yalıtım malzemesinin ömrü, sonradan onarım zorluğu da önceden düşünülmelidir.

2.1.2 Havalandırılmalı ısı yalıtımı uygulamaları

Havalandırılmalı dış duvar ısı yalıtım sisteminde, ısı yalıtım katmanı duvar gövdesinin dış yüzeyine uygulanmakta ve dış kaplama katmanı ısı yalıtımından hareketli bir hava tabakasıyla ayrılmaktadır. Bu tip duvarlarda bina bileşeni, konstrüksiyon ve işlev yönünden hareketli bir hava tabakası tarafından ikiye bölünmektedir. İç ortam yönündeki katman bütün higrotermik zorlamaları üstlenip dengeleme işlevi görürken, dış ortam yönündeki kaplama katmanı duvar bileşenini dış ortamdaki kaynaklanan higrotermik koşullardan korumakla yükümlüdür. Hava tabakası koşulları dış hava sıcaklığı ve bağıl nemi ile aynı özellikleri gösterdiğinden; dış kaplama katmanı ısı ve nemsel davranışla ilgili hesaplama sonuçlarını etkilememektedir (Altınışık, 2006).

Dış katman için kullanılan kaplamalar genellikle; ahşap ürünü, metal, çimento esaslı levhalar, cam ürünü ya da sentetik malzemeler, doğal ya da yapay taşlar gibi malzemelerden oluşmaktadır. Bu sistemde, kapalı ortamdan difüzyonla gelen su buharı hareketli hava tabakasına ulaşır ulaşmaz bina kabuğundan uzaklaşır. Bu nedenle; kaplama konstrüksiyonunda gerekli aralıklarla, hava akımını sağlayan dış ortamla bağlantılı yeterli boşluklar tasarlanması gerekmektedir. Havalandırılmalı dış duvar ısı yalıtım sistemlerinde dış kaplama katmanına düşen görevler (İlgaz, 1979; Yücesoy, 1998; Altınışık, 2006):

Su etkisine, darbesel zorlamaya karşı hassas olan ısı yalıtım katmanını dış etkilerden korumak; (i)

Sıcak ve soğuk dönemde gerçekleşen higrotermik uç hareketlerinden iç kabuğu korumak; ve (ii)

Hareketli hava tabakası yaratarak, bina kabuğunun nefes almasını sağlamak (iii) olarak sayılabilir.

Sonuç olarak havalandırılmalı dış duvar ısı yalıtım sisteminde, ısı yalıtım malzemesi her türlü çevresel etkiden korunmaktadır. Ayrıca, bu tip bir yalıtım sisteminde tam anlamıyla buhar geçirgen bir ısı yalıtım malzemesi kullanılabilir. Özetle, havalandırılmalı dış duvar ısı yalıtım sistemi yapı fiziği açısından etkin bir sistemdir.

2.1.3 İçten ısı yalıtımı uygulamaları

İçten ısı yalıtımı, yapım tekniğinin pratikliği ve uygulama maliyetinin düşük olması nedeniyle tercih edilmektedir. Ancak, içten ısı yalıtımlı sistemlerde duvar gövdesi sıcak yaz döneminde çok yüksek, soğuk kış döneminde çok düşük sıcaklıklar barındırdığından; bu tip duvarlarda sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan hasarların meydana gelme olasılığı yüksektir. Bu nedenle, bu tip duvarlarda yapısal genleşme derzleri bırakılması gerekmektedir (Yücesoy, 1998).

Buna ek olarak, içten ısı yalıtımlı bir duvar sistemini tasarlamadan önce duvarın ısı ve nemle ilgili (higrotermik) davranışları düşünülmelidir. Yüksek nem barındıran ya da ıslak ortamlarda, yüksek buhar geçirimsizlik özelliği olan ısı yalıtım malzemesi buhar kesici görevini de üstlenmektedir. Bu durumda, kullanılan yalıtım malzemesinin derzleri geçmeli/binili ya da şaşırtmalı çift katman olacak şekilde uygulanarak derzlerin geçirimsizliği sağlanmalıdır. Kış döneminde, duvarın donma sıcaklığında bulunan bölgesinin ısı yalıtım malzemesine çok yakın olması halinde, yalıtım malzemesinin iç yüzeyine buhar kesici uygulaması yapılmalıdır (İlgaz, 1979).

Buhar kesici kullanımı teoride çözümsel olmasına karşın bir takım güçlükleri de beraberinde getirmektedir. Örneğin; sıcak dönemde duvar gövdesi çok yüksek sıcaklıklara ulaşacağından, iç yüzeyde bulunan buhar kesiciye ters yönde buhar basıncı gerçekleşir. Bu durum buhar kesicinin bağlantılarından ayrılmasına neden olabilir. Aynı sorun, difüzyon direnci yüksek olan ısı yalıtım malzemelerinde de meydana gelmektedir. Duvarın dışından iç ortama doğru buhar basıncı gerçekleşmesi

nedeniyle ısı yalıtımının duvarla olan bağlantısı zayıflar. Ayrıca, içten buhar difüzyon direnci yüksek bir ısı yalıtımı uygulandığında, ısı yalıtım malzemesinin soğuk yüzünde yoğunlaşma oluşma olasılığı ortaya çıkar. İç yüzeye yapıştırılarak uygulanan ısı yalıtım malzemelerinde, daha uygulama sırasında duvardan kopmalar görülebilmektedir. Difüzyon direnci düşük olan bir ısı yalıtım malzemesi kullanılması durumunda bu sorunlar pek fazla söz konusu olmaz (İlgaz, 1979).

Bütün yapı elemanlarının bünyesinde nem barındırdığı düşünülürse; soğuk ya da sıcak dönemde oluşacak sıcaklık değişimlerine bağlı buharlaşma olayı, ufak çapta gerçekleşen yoğunlaşmaları etkisiz hale getirmektedir. Duvar bünyesine giren su buharının soğuk dönemde yoğunlaşarak duvar bünyesinde kalması problemi, sıcak dönemde buharlaşarak duvarı terketmesiyle çözülebilir. İçten ısı yalıtımlı duvarlarda buharlaşma olayı dış ortama doğru gerçekleşeceğinden, bu durum dış iklim koşullarıyla doğrudan ilişkilidir. Çok soğuk iklimlerde duvar bünyesinde yoğunlaşan su buharı, düşük sıcaklık dereceleri nedeniyle donabilir. Donma-çözünme olayı duvarlarda hasarlara neden olabilir (İlgaz, 1979).

İçten ısı yalıtımlı sistemlerin bir diğer olumsuz yanı ise, bu sistemlerde sıcak dönemde duvarların dış ortamdaki ısıyı depolaması ve güneş ışınımının etkisiyle ısınması nedeniyle iç ortam sıcaklığının çok yüksek değerlere ulaşmasıdır. Diğer yandan; soğuk dönemde içten yalıtımlı duvar gövdesinin iç ortamdaki ısıyı depolama olasılığı bulunmadığından, ısıtma sisteminin kapatılmasından sonra iç ortam sıcaklığının hızla düşmesi söz konusudur. Bu nedenle, içten ısı yalıtımının sürekli ısıtılmayan binalarda kullanılması öngörülmelidir (Yücesoy, 1998).

2.1.4 Dıştan ısı yalıtımı uygulamaları

Isı yalıtım katmanının bina dış duvarlarının dış yüzeyine uygulanması yöntemine dıştan ısı yalıtımı (mantolama) adı verilmektedir. Isı yalıtım katmanının dış duvarın dış yüzeyine uygulanmasının etkin bir ısıl performans açısından birçok olumlu etkisi bulunmaktadır (İlgaz, 1979; Yücesoy, 1998; Altınışık, 2006) :

- Dıştan ısı yalıtımlı kagir esaslı masif duvarlar, iç ortam lehine ısı depolayabilmektedir. Bu sayede, iç ortamda ısıtıcılar/soğutucular kapatıldıktan sonra depolanan ısı bir süre daha korunarak iç ortamda konfor şartlarının devam etmesi sağlanır.

- Isı yalıtım malzemelerinin difüzyon dirençleri genellikle düşük olduğundan, duvar dışında konumlandırılmaları difüzyon tekniği açısından daha doğrudur. Bu şekilde donma sınır değeri dış yalıtım katmanı içinde kaldığından, duvar taşıyıcı katman bünyesinde yoğuşma olasılığı büyük ölçüde azalmaktadır.
- Dış koruyucu katman sayesinde duvar gövdesi, yağış etkisinin neden olduğu sıcaklık değişimlerine bağlı zorlamalara karşı ve iklim elemanlarının şiddetli etkilerine doğrudan maruz kalmayarak korunmuş olmaktadır.
- Dış duvarlarla bağlantılı olan ara duvarların dış ortama bakan yüzeylerinde, çelik ya da betonarme taşıyıcı bileşenlerde, döşeme altlarında yalıtım sürekliliği sağlanmış olmakta ve ısı köprüsü oluşma olasılığı azalmaktadır.
- Dıştan ısı yalıtımlı sistemlerde ısı yalıtım malzemelerinin derzsiz uygulanması hava ve su sızıntılarını önlemektedir. Bu şekilde, ısı köprüleri ile birlikte zamanla duvar yüzeylerinde oluşan toz derzleri ve lekelenmeler de engellenmektedir.
- Dış yüzeye uygulanan ısı yalıtımının yeterli düzeyde/kalınlıkta olması şartıyla iç yüzeye ek bir yalıtım kaplaması uygulanmasına gerek kalmaz. Bu sayede duvar ısı depolayarak iç ortam sıcaklığını dengede tutar.
- Sıcak dönemde, güneş ışınlamından kaynaklanan iç ortamdaki aşırı sıcaklıklar engellenmektedir.
- Soğuk dönemde saydam yüzeyler aracılığıyla bina içine ulaşan güneş ışınlamından kaynaklanan ısı dolaylı olarak iç duvarlarda depolanabilir ve diğer bina elemanlarına aktarılır. Bu sayede dıştan ısı yalıtımı, iç ortamdaki sıcaklığın konfor düzeyine ulaşmasına katkı sağlamaktadır.

Bu olumlu etkilere ek olarak, doğru yapılan dıştan ısı yalıtımı uygulamalarının bina kabuğunun higrotermal performansı ve buna bağlı olarak iç ortamdaki konfor şartları üzerinde olumlu etkileri bulunmaktadır. Örneğin (İlgaz, 1979; Yücesoy, 1998; Altınışık, 2006):

- Soğuk dönemde duvar iç yüzey sıcaklıklarının yüksek olması nedeniyle, duvar iç yüzeyinde çığlaşma ve yoğuşma olasılığı azalmaktadır. Duvar iç yüzey sıcaklığının yüksekliği, soğuk hava akımlarını da önemli ölçüde engellemektedir.

- Doğru uygulamalarda bina nemi, buharlaşma yoluyla duvar sistemini kolaylıkla terk edebilmektedir. Dıştan ısı yalıtımlı duvarlarda buharlaşma olayı iç ortama doğru gerçekleşmektedir. Bu nedenle yoğuşma bölgesinin ters yönde buharlaşma olayıyla kuruması; ısıtma sisteminin sürekliliği ve iç ortamdaki bağıl nem düzeyiyle doğrudan ilişkilidir.

Dıştan ısı yalıtım uygulamalarının bahsedilen olumlu özelliklerinden kaynaklanan ekonomik ve çevresel yararları da bulunmaktadır. Örneğin; ısı köprüsü oluşma olasılığı az olduğu için ek bir iyileştirme maliyeti oluşmamaktadır. Diğer yandan, duvarın soğuk dönemde iç ortam lehine ısı depolaması sayesinde enerji kullanımı ve buna bağlı olarak yakıt giderleri azalmaktadır. Sıcak dönemde güneş ışınlamından kaynaklanan iç ortamdaki aşırı sıcaklıkların engellenmesiyle, iç ortamı soğutmak için harcanan enerji ve buna bağlı olarak soğutma giderleri azalmaktadır. Duvar bünyesinden geçen soğuk su tesisat boruları donma sınır değeri dışında kalmakta, sıcak su borularının ısı kaybetme oranı azalmaktadır. Ayrıca, bunlara bağlı olan bakım ve onarım giderleri de büyük ölçüde azalmaktadır (Yücesoy, 1998)

Dış duvarlarda dıştan ısı yalıtım uygulamalarıyla ilgili en önemli sorun, ısı yalıtım malzemesinin istenmeyen dış ortam atmosfer koşullarından korunmasıyla ilgilidir. Isı yalıtım katmanı üzerine sıva ve seramik kaplama uygulamaları yapıldığında bu katmanların yüzey sıcaklıkları, masif duvar üzerine doğrudan uygulanan kaplamalara göre çok daha yüksek olmaktadır. Bu nedenle, kaplama bünyesindeki sıcaklık değişimlerinin neden olduğu gerilmelerin dengelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, sıva uygulamasında mümkünse duvarla bağlantılı taşıyıcı bir donatıya sahip ve anorganik lif takviyeli bir alt sıva uygulaması gerekmektedir. Diğer yandan, dış yüzeye uygulanan ısı yalıtım katmanının, dış kaplamadan geçebilecek nem ile ıslanma olasılığı bulunmaktadır. Bu nedenle, ısı yalıtım katmanı üzerine sıva uygulanırken duvar köşelerinde, duvar bağlantı ve bitiş bölgelerinde paslanmaz sıva tutucu profiller/elemanlar kullanılması gerekir (Altınışık, 2006).

2.2 Türkiye’de mevcut binalarda dıştan ısı yalıtım uygulamaları

Enerji tüketimindeki aşırı artışın neden olduğu çevresel sorunların ve ekonomik nedenlerle artan enerji tasarruf ihtiyacının etkisiyle, Türkiye’de mevcut binalarda dış duvarlarda dıştan ısı yalıtımı (mantolama) uygulamalarının son yıllarda hızla yaygınlaşmakta olduğu görülmektedir. Bu uygulamaların giderek artmasının bir

diğer nedeni ise, binalarda enerji tüketimini azaltmak amacıyla oluşturulan yasal zorunluluklardır. Pratik uygulamalarda dıştan ısı yalıtımı sistemleri ve özellikle malzeme seçimi konularında ciddi bir bilgi kirliliği bulunmaktadır. Kontrol mekanizmalarının etkin bir şekilde işlememesinin de etkisiyle, özellikle sokak aralarında yapılan bilinçsiz ve çoğu zaman niteliksiz uygulamaların giderek yaygınlaştığı görülmektedir.

Türkiye’de binalarda ısı yalıtımı konusuyla ilgili ilk olarak 1970 yılında TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standartı hazırlanmıştır ancak o zaman uygulanmasına yönelik bir zorunluluk getirilmemiştir. Isı yalıtım gerekliliği ilk kez hazırlanan bu standartta gündeme gelmekle birlikte daha sonraları, 30.10.1981 tarihinde, “Isı Yalıtım Yönetmeliği” nin yürürlüğe konması ve 16.01.1985 tarihinde TS825 standardı üzerinde çeşitli değişikliklerin yapılmasıyla bazı yeni yapılarda uygulanmaya başlamıştır.

“TS 825 - Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standartının sonraki revize çalışmaları 1995 yılında başlamış, 1998 yılında Türk Standartları Teknik Kurulu tarafından onaylanmış, 1999 yılında resmi gazetede yayınlanmıştır. 14.06.2000 tarihinden itibaren ise yeni inşa edilen binaların ısı yalıtım proje hesaplarında bu standarttaki kurallara uyulması zorunlu hale getirilmiş, ancak mevcut binalarda herhangi bir yasal uygulamaya gidilmemiştir (Şenkal Sezer, 2005). Bu tarihten sonra TS 825 standardı, 2008 yılında ve ardından 2013 yılında tekrar revize edilerek yayınlanmıştır.

Diğer yandan, 2007 yılında yayınlanan “Enerji Verimliliği Kanunu” nun ardından, 2008 yılında Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı) tarafından “Binalarda Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliği” yayınlanmıştır. Bu yönetmeliğin yayınlanmasıyla “Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği” yürürlükten kaldırılmıştır.

BEP yönetmeliğinde tariflenen “Enerji Kimlik Belgesi (EKB)” uygulaması yeni yapılan binalarda ve mevcut binalarda zorunlu hale gelmiştir. Yönetmelikte yeni yapılan binaların, bina kullanma izin belgesi (iskan ruhsatı) alınması aşamasında Enerji Kimlik Belgesini ilgili idareye (belediye) sunması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca, BEP Yönetmeliğinde bulunan Geçici Madde 3’te, “Mevcut binalar ve inşaatı devam edip henüz yapı kullanım izni almamış binalar için Enerji Verimliliği Kanununun yayımı tarihinden itibaren on yıl içinde Enerji Kimlik Belgesi

düzenlenir” ifadesi yer almaktadır. Özetle, BEP yönetmeliğine göre mevcut binaların kanunen 2 Mayıs 2017 tarihine kadar Enerji Kimlik Belgesi alması gerekmektedir (BEP, 2008). Böylece, mevcut binalara ısı yalıtımı uygulaması yapılması da zorunlu hale gelmiştir.

Son zamanlarda, ısı yalıtımının resmi olarak zorunlu hale gelmesinin firmalar tarafından kullanılarak bir reklam aracı yapıldığı görülmektedir. Ayrıca, dıştan ısı yalıtımı uygulama işlerine yönelik sektörde faaliyet göstermeye başlayan çok fazla sayıda ufak çaplı işletmeler de ortaya çıkmıştır. Bu işletmeler tarafından ve hatta uzmanlıkları hiç olmamasına rağmen, dıştan ısı yalıtım uygulaması yapmayı vadeden ehliyetsiz kişilerce dıştan ısı yalıtımı uygulamaları amatörce yapılabilmektedir. Isı yalıtımı ihtiyacıyla ilgili hesaplamaların yapılması, bina kabuğunun katmanlaşmasının bütüncül olarak ele alınması, kabuk saydamlık oranının, hacimlerin ve bina işlevlerinin dikkate alınması gibi konular bu uygulamaların çok uzağında kalmaktadır. Diğer yandan, deneyimli ve profesyonel firmalar tarafından standart ve yönetmelik gerekliliklerine uyularak detaylı analizlerin yapılması sonucu gerçekleştirilen uygulamalar da bulunmaktadır. Ancak, sokak aralarında, tek apartman uygulamalarında genel olarak deneyimsiz işletme ya da kişiler tarafından yapılan uygulamaların çoğunlukta olduğu gözlenmektedir.

2.3 Isı Yalıtımı Konusuyla İlgili Mevzuat

Bu bölümde, ısı yalıtımı uygulamalarıyla ilgili mevzuat üç alt bölümde ele alınmaktadır. İlk alt bölümde, dıştan ısı yalıtımının performansı ile ilgili gereklilikleri içeren mevzuattan bahsedilmektedir. İkinci alt bölümde, yaygın olarak kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin gereklilikleriyle ilgili mevzuat anlatılmaktadır. Üçüncü alt bölümde ise, dıştan ısı yalıtımı uygulamalarının bir sistem olarak gerekliliklerini ve uygulama esaslarını içeren mevzuata değinilmektedir.

2.3.1 Isı yalıtımı performansına yönelik mevzuat

Bu bölümde, binalarda ısı yalıtımı performans ölçütleriyle ilgili Türkiye’de yürürlükte olan mevzuattan bahsedilmektedir. Bu kapsamda, “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardı ile BEP “Binalarda Enerji Performansı” yönetmeliği anlatılmaktadır.

2.3.1.1 Binalarda ısı yalıtım kuralları (TS 825)

TS 825, yeni yapılan binaların net ısıtma miktarı ihtiyacını, izin verilecek en yüksek ısı kaybı miktarını hesaplamak ve yoğunlaşma kontrolü yapmak için gereken esasları içeren bir standarttır. Ayrıca, mevcut binalarda yapılan onarım ya da ekleme işlemlerinde bu standartta geçen değerlerin nasıl kullanılması gerektiğiyle ilgili konuları kapsamaktadır. TS 825 standardında açıklanmakta olan mevcut binalarla ilgili gereklilikler, mevcut binaların ısıtma enerjisi ihtiyacını ve binalarda yenileme projesi uygulanmadan önce enerji tasarrufuyla ilgili alınabilecek tedbirleri belirlemektir.

Standartta göre bir binayı oluşturan duvar, döşeme, çatı, pencere sistemleri gibi bina elemanları bir bütün olarak ve binanın izin verilen enerji ihtiyacı gerekliliklerini sağlayacak biçimde tasarlanmalıdır. Bu nedenle, öncelikle binanın ısı ihtiyacını hesaplamak gerekir. TS 825'te geçen ısı ihtiyacını belirleyen ölçütler şunlardır: bina özellikleri, iletim, taşınım ve havalandırma yoluyla kaybedilen ısı kayıpları (i); ısıtma sisteminin ve kontrol sistemlerinin özellikleri (ii); iç ortam sıcaklığı, kullanıcılar için konfor sıcaklığı ve bu sıcaklığın binanın farklı bölümlerinde günün farklı zamanlarında nasıl değiştiği (iii); dış iklim şartları, hava sıcaklığı ile rüzgar yönü ve şiddeti (iv); iç ısı kazanç kaynakları, yemek pişirme, sıcak su kullanma, aydınlatma ve insanların eylemleriyle iç ortamda kazanılan ısı (v); güneş enerjisi, pencere gibi saydam bina elemanlarından ortama ulaşan enerjidir (vi). (TS 825, 2013).

2.3.1.2 Binalarda enerji performansı (BEP) yönetmeliği

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 2008 yılında Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı) tarafından enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması, enerji tasarrufunun sağlanması ve çevrenin korunmasına ilişkin esasları düzenlemek amacıyla yayınlanmıştır.

Yeni bina tasarımında, mevcut binaların proje değişikliği gerektiren önemli tadilat projelerinde, mekanik ve elektrik tesisat değişikliklerinde binanın özelliklerine göre bu yönetmelikte öngörülen esaslar göz önüne alınır. Projeleri BEP yönetmeliğine uygun olmayan binalara, ilgili idare tarafından yapı ruhsatı verilmez. Yönetmelikte tanımlanmamış olan ve açıklık gereken hususlar hakkında Türk Standartlarının

güncel halleri, olmaması halinde ise Avrupa Standartlarının güncel halleri kullanılması gerektiği de ayrıca belirtilmektedir (BEP, 2008).

2.3.2 Isı yalıtım malzemelerine yönelik mevzuat

Bir ısı yalıtım malzemesinin en önemli özelliği ısı iletkenliğinin az olmasıdır. Bunun yanında, ısı yalıtım malzemesinin uygulandığı yere göre basınç dayanımı, yangın dayanımı gibi özellikleri de önemli olmaktadır. Son zamanlarda, piyasada bulunan ve en yeni teknolojilerle üretilen ısı yalıtım malzemeleri birçok farklı kullanım alanında beklenen performansı karşılayabilecek özelliklerdedir. Buna rağmen, ne kadar pahalı ve nitelikli olursa olsun, hiçbir yalıtım malzemesi aynı anda bütün beklentileri karşılayamayabilir. Örneğin, yüksek basınç dayanımı ve ses yalıtımı ya da düşük difüzyon direnci ve nem dayanımı gibi özellikler birbirlerinin etkisini yok edebilmektedir.

Bu bölümde, ısı yalıtım malzemelerinin ayırt edici özelliklerinden ve bu özelliklerin mevzuat ve standartlarda nasıl yer aldığından bahsedilmektedir. Bu özellikler, ısı yalıtım malzemesinin yoğunluğu, ısı ve neme karşı davranışı, mekanik ve akustik özellikleri ile yangın dayanımı olarak sayılabilir. Ayrıca, ısı yalıtım malzemesinin ekolojik davranışı da önemli bir ayırt edici özellik olarak karşımıza çıkmaktadır (Pfundstein, Gellert, Spitzner, & Rudolphi, 2007). Çizelge 2.1’de Türkiye’de yaygın olarak kullanılan bazı yalıtım malzemelerinin standartlarda belirtilen özellikleri görülmektedir.

Çizelge 2.1 : Isı yalıtım malzemelerinin özellikleri

Yalıtım Malzemeleri	Yoğunluk [kg/m ³] (TS EN 1602)	ısı iletkenlik [W/(mK)]	özgül ısı kapasitesi [J/(kgK)] (TS EN 12524)	su buharı difüzyon direnci μ (TS EN 12086)	hacime göre-uzun dönem su emilimi [%] - (TS EN 12087)
cam yünü	150 - 230	0.070 - 0.093	800 - 1000	1 - 5	15
mineral yün (MW)	20 - 200	0.035 - 0.040 (TS EN 13162)	600 - 1000	1 - 2	-
genleştirilmiş polistiren (EPS)	15 - 30	0.035 - 0.040 (TS EN 13163)	1500	20 - 100	1 - 5
çekme polistiren (XPS)	25 - 45	0.030 - 0.040 (TS EN 13164)	1300 - 1700	80 - 200	0.1 - 0.3

Alt bölümlerde, Çizelge 2.1’de belirtilen özelliklerle diğer bazı önemli özelliklerin malzemenin hangi niteliğini tarif ettiği ve nasıl hesaplandığı anlatılmaktadır.

Yoğunluk (ρ): Bir malzemenin yoğunluğu, kütlesinin hacmine oranını tanımlar ve kg/m^3 olarak ifade edilir. Isı yalıtım malzemesinin yoğunluğu TS EN 1602 “Isı yalıtım malzemeleri - Binalar için - Görünür yoğunluk tayini” standardına göre ölçülmektedir ve malzeme türlerine bağlı olarak 8 – 750 kg/m^3 aralığında verilmektedir (TS EN 1602, 2013).

Isıl İletkenlik (λ): Isıl iletkenlik bir malzemenin ısı enerjisiyi iletme kapasitesidir. Isı kayıplarını önlemek için kullanılan ısı yalıtım malzemeleri, düşük ısı iletkenlik değerine sahip malzemelerdir. Bir malzemenin ısı iletimi ne kadar azsa, buna bağlı olarak ısı kayıpları/kazançları da azalır. Isıl iletkenlik yalıtım malzemeleri için önemli bir etkidir ve birimi W/mK 'dir. Binalarda ısı yalıtımı ve enerji ekonomisi “Thermal insulation and energy economy in buildings” başlıklı (DIN 4108 , 2011) standardındaki tanıma göre ısı iletkenliği 0.10 W/mK 'e eşit ya da daha küçük olan malzemeler ısı yalıtımı malzemesi olarak tanımlanmaktadır. Piyasadaki iyi sayılan çoğu ısı yalıtımı malzemesinin ısı iletkenliği 0.030 ile 0.050 W/mK arasında değişmektedir. Genellikle ısı iletkenliği 0.030 W/mK 'den düşük olan malzemelerin ısı yalıtım performansı çok iyi, yaklaşık 0.040 W/mK olanlar iyi, 0.060 W/mK civarında olanlar orta ve 0.070 W/mK 'den yüksek olanların ise kötü olduğu kabul edilir. Köpük ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliği gözeneklerinin dağılımına ve hangi gazla dolu olduğuna bağlıdır (Pfundstein, Gellert, Spitzner, & Rudolphi, 2007).

Ayrıca, ısı yalıtım malzemesinin nem içeriği, ısı iletkenliğini etkilemektedir. Nemin arttığı durumlarda, lifli yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliği kapalı gözenekli ısı yalıtım malzemelerine göre daha hızlı yükselir. Malzemelerin ayırt edici özelliklerinden biri olan ısı iletkenliği ölçmek için çeşitli test yöntemleri bulunmaktadır (Pfundstein, Gellert, Spitzner, & Rudolphi, 2007). Isı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliği genel olarak TS EN 12664 “Yapı malzemeleri ve mamulleri - Isıl direncin, korumalı tablalı ısıtıcı ve ısı akı ölçerin kullanıldığı metotlarla tayini - Isıl direnci orta ve düşük seviyede olan kuru ve rutubetli mamuller”, 12667 “Yapı malzemeleri ve mamullerinin ısı performansı-Mahfazalı sıcak plaka ve ısı akış sayacı metotlarıyla ısı direncin tayini-Yüksek ve orta ısı dirençli mamuller ve 12939 “Yapı malzemelerinin ve mamullerinin ısı performansı-Mahfazalı sıcak plâka cihazı ve ısı akış sayacı metotları ile ısı direncin tayini-

Yüksek ve orta ısı dirençli kalın mamuller” standartlarında geçen test yöntemleriyle belirlenebilmektedir.

Özgül ısı kapasitesi (c): Özgül ısı kapasitesi, bir malzemenin kütlesine bağlı olan ısı depolama yeteneğini ifade etmektedir ve birimi J/kgK’dır. Malzemenin iç yapısına ve yoğunluğuna bağlı bir özelliktir. Kütlesi ağır yapı bileşenlerinin ısınması uzun zaman alır ve böylece daha çok ısı depo edebilir ve bu nedenle özgül ısı kapasiteleri de yüksek olur.

Su buharı difüzyon direnci (μ): Havada ve bina bileşenlerinin içinde her zaman belli bir miktarda su buharı bulunmaktadır. Su buharı molekülleri her yöne eşit oranda dağılmaya eğilimlidir. Bina malzemeleri içyapı özelliklerine bağlı olarak su buharının bu davranışına karşı bir direnç gösterir. Bir malzemenin su buharı difüzyon direnci, 1 m kalınlığındaki malzemenin buhar geçirimsizliğinin 1 m kalınlığındaki hava tabakasının buhar geçirimsizliğine oranıdır. Bu direncin eşdeğer hava tabakasına göre birimi m olarak ifade edilir. Genellikle, lifli yalıtım malzemeleri su buharı difüzyonuna çok az direnç gösterir. Rijit köpük malzemeler ise su buharı difüzyonuna lifli malzemelere göre daha fazla direnç gösterir. Cam köpüğünün su buharı difüzyon direnci sonsuzdur ve böyle malzemeler buhar geçirimsiz olarak adlandırılır. TS EN 12086 “Isı yalıtım malzemeleri - Isı yalıtım malzemeleri - Binalar için - Su buharı geçirgenlik özelliklerinin tayini” standardında, buhar difüzyon direnci malzeme türlerine bağlı olarak 1 ile ∞ aralığında verilmektedir (TS EN 12086, 2013).

Su emilimi: Su emilimi miktarı kg/m³ olarak ya da malzemenin hacmine oranla (%) olarak ifade edilir. Su ve nem emilimi bir yalıtım malzemesi için istenmeyen bir durumdur. Suyun ısı iletkenliği durgun havaya göre çok daha fazladır. Bu nedenle, su emilimi ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliğinin artmasına neden olmaktadır. Isı yalıtım malzemeleri çoğu zaman üretimleri sırasında su itici olmaları için işlem gördüğünden havadaki nemi emmezler ve belli bir miktarda neme zarar görmeden dayanabilirler. Aynı zamanda, kapiler davranış göstermezler ve nem iletimi yapmazlar. Ancak; bina bileşeninde ısı yalıtım malzemesiyle birlikte buhar geçirimsiz bir katman varsa, uygulama sırasında oluşan nem kuruyamadığı için, yalıtım malzemesinin türüne de bağlı olarak zararlı olabilir (Pfundstein, Gellert, Spitzner, & Rudolphi, 2007). TS EN 12087 “Binalar için ısı yalıtım malzemeleri -

Daldırma yöntemiyle uzun dönem su emme tayini” standardında farklı malzemelerin su emilim değerleri verilmektedir (TS EN 12087, 2013).

Burada anlatılan özellikler, ısı yalıtım malzemelerinin ısı ve nemsel performansı ile doğrudan ilgili olan özelliklerdir. Bunların yanında ısı yalıtım malzemesinin basınç dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı gibi standartlarda tarif edilen şartları sağlaması gereken yapısal özellikleri de bulunmaktadır. Ancak, konu çalışma kapsamı çerçevesinde sınırlandırılmıştır.

2.3.3 Dıştan ısı yalıtımı uygulamalarına yönelik mevzuat

Bu bölümde, etkin performans gösteren bir dıştan ısı yalıtımı sisteminin uygulanmasıyla ilgili gereksinimleri belirleyen standartlardan bahsedilmektedir. İlk alt bölümde, dıştan ısı yalıtımlı ve sıvalı kompozit sistemlerle (ETICS) ilgili standartlar ve ikinci alt bölümde dıştan ısı yalıtımı sisteminin uygulama esaslarını ayrıntılı bir şekilde açıklayan Avrupa Birliği’nin Yapı Teknik Onay Kurumunca (EOTA) yayınlanmış Avrupa Teknik Uygulama Rehberi (ETAG) 004 anlatılmaktadır.

2.3.3.1 Dıştan ısı yalıtımlı ve sıvalı kompozit sistemler (ETICS)

Avrupa’da ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems) olarak bilinen dıştan ısı yalıtımlı ve sıvalı kompozit sistemler, ısı yalıtımı sırasında bina dış duvarlarına üst üste uygulanan katmanların tamamını kapsayan sistemlerdir. 1940’larda İsveç’te geliştirilmiş olan bu sistemler, günümüzde Avrupa’da yaygın olarak kullanılmaktadır (Amaro, de Brito, & Flores Colen, 2013). Türkiye’de de yürürlükte olan dıştan ısı yalıtımlı ve sıvalı kompozit sistemlerle (ETICS) ilgili standartlar bulunmaktadır. Türkiye’deki standartlar, yalıtım malzemesine göre, sistemin batma dayanımının kontrolüne göre ve sistemde mekanik olarak ya da yapıştırıcıyla sabitlenmiş yalıtım levhalarının adezyon kuvvetinin belirlenmesine göre farklı konuları içermektedir (TS EN 13500, TS EN 13499, TS EN 13498, TS EN 13495). Bu bölüm, Türkiye’de dıştan ısı yalıtımı uygulamalarında yaygın olarak kullanılmakta olan EPS malzemesiyle oluşturulan dıştan ısı yalıtımlı ve sıvalı kompozit sistemler hakkındaki standartla sınırlandırılmıştır (TS EN 13499, 2006).

Bu sistemler genellikle, bir alt katman (bina dış duvarı) üzerine yapıştırma yöntemiyle ya da mekanik bağlayıcılarla sabitlenen ısı yalıtımı katmanını ve

donatıyla desteklenmiş bir üst katmanı içermektedir ve plastik boya katmanıyla tamamlanmaktadır. Sistem oluşturulurken ilk önce, ön üretimli ısı yalıtım malzemesi duvar yüzeyine yapıştırıcı yoluyla, mekanik bağlayıcılarla ya da yapıştırıcıyla desteklenen mekanik bağlayıcılarla sabitlenmektedir. Ardından, ısı yalıtım malzemesinin üzerine hiç boşluk bırakmadan, yerinde hazırlanan donatılı sıva kaplaması ve son kat boya uygulaması yapılmaktadır. Bu şekilde uygulanan ısı yalıtım sistemleri “dıştan ısı yalıtımlı ve sıvalı kompozit sistemler (ETICS)” olarak adlandırılmaktadır. Standartta dıştan ısı yalıtımlı ve sıvalı kompozit sistemleri oluşturan katmanlar, şu şekilde tanımlanmıştır (TS EN 13499, 2006) :

Alt katman: Yeni ya da mevcut bir binanın ısı yalıtımı uygulanacak parçasının düşey yüzeyidir. Mineral ya da organik bir kaplama ya da boya kaplaması olabilir.

Yapıştırıcı: Isı yalıtım malzemesinin alt katmana sabitlenmesini sağlayan sisteme özel malzemedir.

Mekanik sabitleme malzemeleri: Sisteme özel, ısı yalıtım sistemini alt katmana sabitleyen kenetler, dübeller, metal bağlayıcılar, vb. malzemelerdir.

Üst katman: Isı yalıtımının üzerine uygulanan, sisteme özel bir donatılı katmandır.

Donatılar: Cam lifi veya metal esaslı profiller gibi sisteme özel, üst katmanın mekanik dayanımını arttıran donatı malzemeleridir.

Son kat kaplama: Üst katman ile birlikte ısı yalıtım malzemesini hava koşullarından koruyan ve sistemin dıştan estetiğini sağlayan sisteme özel bir mineral, organik ya da anorganik kaplamadır.

2.3.3.2 ETICS uygulama kılavuzu (ETAG 004)

Türkiye’nin de üyesi olduğu Avrupa Teknik Onay Organizasyonu (EOTA - European Organisation for Technical Approvals) tarafından 2000 yılında yayınlanan Avrupa Teknik Onay Rehberi (ETAG) 004, dıştan ısı yalıtımlı kompozit sistemlerin (ETICS) CE onayı için etkin çalışma koşullarını tanımlayan bir rehberdir.

Bu belge, Avrupa’da uygulaması zorunlu kriterleri içeren bir sistemi tanımlamaktadır. Firmalar tarafından başvuruda bulunulması sonucunda, firmalara ait dıştan ısı yalıtımlı ve sıvalı kompozit sistemlerin ya da ürettikleri dıştan ısı

yalıtlımlı ve sıvalı kompozit sisteme ait bir katmanın/malzemenin performansını değerlendiren, uygunluğunu test eden bir rehber olarak hazırlanmıştır. ETAG 004 değerlendirmeleri, arasında dıştan ısı yalıtlımlı ve sıvalı kompozit sistemleri oluşturan farklı katman ve malzemelere göre hazırlanmış farklı ETICS standartları ve bunun gibi birçok standartta dayanmaktadır.

ETAG 004'te tanımlanan dıştan ısı yalıtlımlı ve sıvalı kompozit sistemler; yapıştırılan sistemler ve mekanik tespit sistemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Uygulama yapılan duvar sistemleri ise; yığma duvarlar ve beton duvarlar (yerinde ya da nyapım) olarak ikiye ayrılmaktadır. Rehber kapsamında; ETICS'i oluşturan her bir katman (yapıştırıcılar, harçlar, tespit sistemleri, kaplamalar, yalıtlım malzemeleri) tüm detaylarıyla incelenir ve katmanın performans kriterlerine uygunluğu denetlenir.

ETAG 004 rehberinde her bir bileşen için bir kısmının uygunluğu denetlenen performans kriterleri Avrupa Yapı Malzemeleri Direktifi tarafından belirlenen kriterlerdir (CPD, 2003) :

Mekanik dayanım ve stabilite : Bina malzemeleri, uygulama ve kullanım süreci boyunca maruz kalacakları yüklerin neden olabileceği etkilere dayanacak şekilde tasarlanmak zorundadır. Bu etkiler; malzemenin bir bölümünde ya da tamamında meydana gelen çöküntüler, kabul edilemeyecek büyüklükte şekil bozuklukları, taşıyıcı bileşende gerçekleşen şekil bozukluklarının sonucu olarak tespit sisteminde ya da bileşen konstrüksiyonunu oluşturan diğer bölümlerde meydana gelecek hasarlardır.

Yangın dayanımı : Bina malzemelerinin yangına karşı göstermek zorunda olduğu davranışlar: belli bir sreye kadar yangına dayanma, malzemede yangın yayılımının ve duman salınımının sınırlandırılmış olması, yangının çevresindeki malzemelere sıçramasının sınırlandırılmış olması ve kurtarma ekibinin güvenliğini sağlıyor olmasıdır.

Hijyen, sağlık ve evre : Bina malzemeleri, kullanıcı sağlığını ve bulunduğu ortamın hijyenini tehdit eden etkilere neden olmayacak şekilde tasarlanmak zorundadır. Bu etkiler; zehirli gaz salınımı, havada tehlikeli parçacıkların ya da gazların oluşması, tehlikeli ışınım yayma, su ve toprak kirliliğine neden olma, atık su salınımı, katı ve sıvı atıklar oluşturma, yüzeyde ya da belli bölümlerinde oluşan kf, lekelenme gibi etkilerdir.

Kullanım güvenliği : Bina malzemeleri, uygulama ve kullanım süreci boyunca; kayma, düşme, patlamada yaralanma, yanık oluşumu gibi istenmeyen kaza risklerinin varlığına neden olmayacak şekilde tasarlanmak zorundadır.

Gürültüye karşı koruma : Bina malzemeleri, kullanıcıların ve komşularının sağlığını tehdit etmeyecek, rahat uyumalarını, konforlu koşullarda dinlenip çalışmalarını sağlayacak düzeyde gürültü korunumu sağlayacak şekilde tasarlanmak zorundadır.

Enerji ekonomisi ve ısı korunumu : Bina malzemeleri ve ısıtma, soğutma, havalandırma sistemleri enerji ihtiyacını düşük miktarlarla sınırlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Ortamda istenen konfor koşullarını sağlayacak özelliklere sahip olmalıdır.

Durabilite ve İşe Yararlık : Bir bina malzemesi kullanım ömrü boyunca işlevselliğini sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Kullanım ömrünü tamamlamadan, çevresel etkiler nedeniyle malzemede meydana gelebilecek bozulmalar sınırlandırılmalıdır.

ETAG 004 rehberi kapsamında ETICS sistemini oluşturan her bir bileşenin açıklanan performans kriterlerine uygunluğunu denetlemek için bileşenlere referans verilen standartlarda tarif edilen şekilde çeşitli hesaplamalar, testler ve yaşlandırma testleri uygulanmaktadır (ETAG 004, 2013).



3. DIŞ DUVARLARDA HİGROTERMAL (ISIL VE NEMSEL) PERFORMANS

İyi tasarlanmış bir bina; kendinden beklenen temel işlevleri yerine getirmeli, kullanıcıları için konforlu ve estetik açıdan güzel bir barınak olmalıdır. Bunu sağlarken de, kendi içindeki servis yüklerine; rüzgar, yağmur, nem ve nadir olarak deprem, sel baskını gibi çevresel etkilere karşı dayanımı yüksek olmalıdır. Bir binanın işleyişini olumsuz yönde etkileyecek etmenlerden biri nemdir. Binanın tasarım ve yapım aşamasında kontrol altına alınmayan nem; bina bileşenlerinde hasarlara neden olmakta ve buna bağlı farklı sorunlara yol açmaktadır. Örneğin; binayı oluşturan ahşap elemanlarda çürümelere neden olurken, çelik elemanlarda da korozyonla ilgili problemler yaratmaktadır. Ayrıca, bina kabuğu bünyesinde bulunan yüksek miktarlardaki nem; bina kabuğunu oluşturan katmanların ve özellikle ısı yalıtımının ısı performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Diğer yandan, insanlar rahatça solunum yapabilmek için bir miktar neme ihtiyaç duymaktadır. Kısaca, binaya etki eden nem engellenmemeli, ancak kontrol altına alınmalıdır (Trechsel & Bomberg, 2009).

Binada oluşan nemi kontrol altına almanın hijyenik nedenleri de bulunmaktadır. Bina içinde, bina elemanlarının birleşim noktalarının oluşturduğu köşelerde ya da ısı köprüsü oluşan bölümlerde nem yoğunluğu %80 oranlarına ulaşmaktadır ve International Energy Agency tarafından hazırlanan rapora göre bu durumda küf gelişimi ihtimali oluşur (1990). Küfün yol açtığı alerjik problemler ve bazı küf türlerinin toksin içerdiği düşünüldüğünde, küfün sadece görsel bir sorun olmadığı, kullanıcı sağlığı üzerinde zararlı etkilerinin de olduğu anlaşılmaktadır (Pult, 1992).

Binalarda nem kaynaklı sorunların tasarım aşamasında önüne geçebilmek ya da hasarlı, onarım gerektiren, ısı yalıtımına ihtiyaç duyan bir binada etkin onarım çözümlerini belirlemek için nem kaynaklı sorunların nedenlerini önceden tespit etmeye yarayan yöntemler bulunmaktadır. Literatürde bu yöntemlerin, test yöntemleri ve hesaplama yöntemleri olarak iki ana başlığa ayrıldığı görülmektedir. Test yöntemleri laboratuvar ortamında veya mevcut binalar üzerinde yapılan

testlerden oluşmaktadır. Hesaplama yöntemleri ise, elle hesaplama yöntemleri ile bilgisayar üzerinden sayısal hesaplama yapmaya dayanan benzetim yöntemleri olarak açıklanabilir.

İlk bölümde, dış duvarlarda ısı ve nem konusu anlatılmaktadır. Alt bölümlerde; nemin dış duvara girişi, nemin duvar bünyesine ulaşmasına neden olan etmenler, ısı ve nem geçiş yolları ve nemin ısı yalıtımına etkisi üzerinde durulmaktadır. İkinci bölümde, higrotermal performansı değerlendirme yöntemlerinden bahsedilmektedir. Bu yöntemler, test ve hesaplama yöntemleri olarak açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde; higrotermal performansın benzetimle hesaplanmasında kullanılan benzetim araçları hakkında bilgi verilmektedir. Dördüncü bölümde, benzetim araçlarından biri olan WUFI 2D anlatılmaktadır. Alt bölümlerde; WUFI 2D benzetim aracının hesaplamalarda kullandığı verilere, hesaplama sonuçlarına ve WUFI 2D ile higrotermal performansın hesaplanmasında karşılaşılan zorluklara değinilmektedir. Son bölümde; higroremal performansın test ve benzetim yöntemiyle hesaplanması konularında yapılan çalışmalardan örnekler bulunmaktadır.

3.1 Dış Duvarlarda Isı ve Nem

Binalarda ısı ve nem problemlerine neden olan etmenler, hava sızıntıları ve buhar etkisiyle duvar bünyesine geçen yüksek iç ortam nemliliği, çatlaklar aracılığıyla ve rüzgarla itilen yağmur etkisiyle duvara ulaşan su kütleleri, birbiriyle bağlantılı beton elemandan ahşap elemana doğru kılcallık etkisiyle hareket eden nem ve ıslanmış bina malzemeleri olarak özetlenebilir. Bu şekilde duvar bünyesine yerleşen nem; yüzey sıcaklıklarının ve malzemelerin sürekliliğinin etkisiyle tekrar dışarıya çıkamayabilir ve duvar bünyesinde problemlere neden olabilir (Arena & Mantha, 2013).

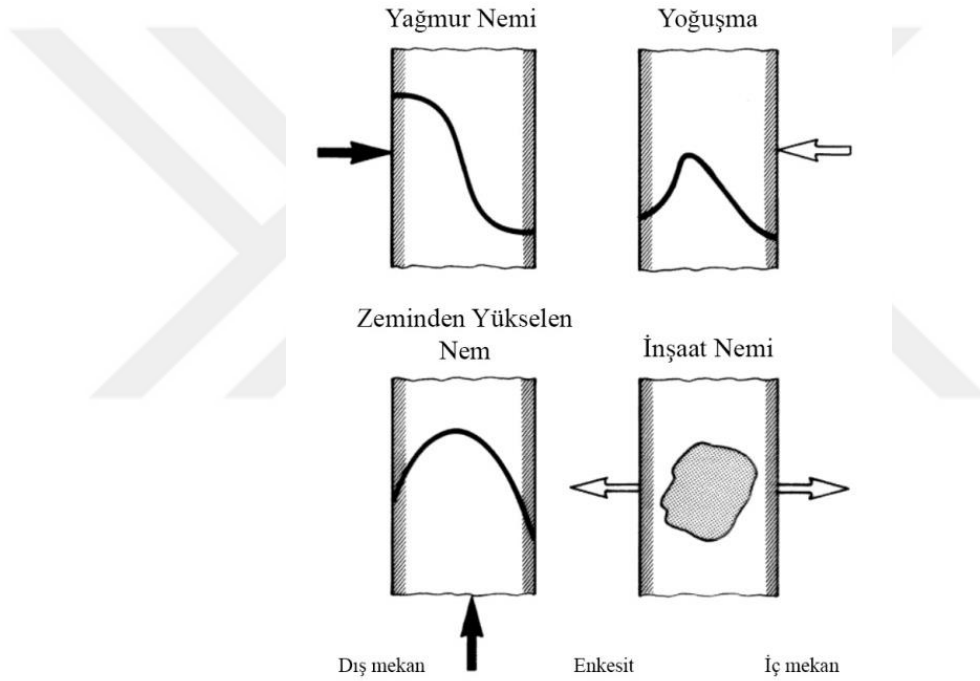
Bu bölümde; nemin dış duvara girmesine neden olan etmenler, ısı ve nem geçiş yolları, ısı ve nemin ısı yalıtımının higrotermal performansı üzerindeki etkisi anlatılmaktadır.

3.1.1 Nemin dış duvara girişi

Bir önceki bölümde, bir binanın tasarım ve yapım aşamasında bina bileşenlerinden suyu uzak tutmak veya en azından bileşenlerin nem içeriğini zarar verici seviyelere ulaşmayacak bir noktaya kadar azaltmak için gerekli önlemler alınması gerektiğinden

bahsedilmiştir. Bunu yapabilmek için, öncelikle nemin bina bileşenlerine nasıl girdiğini ve hangi koşullarda hasara neden olduğunu bilmemiz gerekmektedir.

Şekil 3.1.'de bina bileşenlerine nem girişini sağlayan dört ana etmen şematik olarak görülmektedir. Bina bileşenini etkileyen nem, sıvı fazda –yağmur suyu, zeminden yükselen nem- olabilirken; bina bileşeninin yüzeyinde ya da içinde yoğunlaşan su buharı olarak bulunabilir. Çok katmanlı bir bina bileşeninin olduğu durumlarda, yoğunlaşma genellikle bir katmanın sınır yüzeyinde gerçekleşir. Bina bileşenindeki nem artışına, yapım sürecinde kullanılan sıva ve harçın bünyesinde bulunan su ya da kullanılan bina malzemelerinin üretimi sırasında oluşan nem neden olabilir ve bu şekilde oluşan nem, inşaat nemi olarak adlandırılır (Künzel, 1995).



Şekil 3.1 : Nemin dış duvara girişi (Künzel, 1995)

Zeminden yükselen nem : Zeminlerde yer alan boşluklar ve kanallar birbirleriyle bağlantılıdır. Rastgele dağılmış olan bu boşluk ve kanallar boyunca nem hareketleri ve su sızıntıları gerçekleşmektedir. Zemindeki kanalların kesit alanları ve yönleri belli olmadığı için, içlerinde gerçekleşen su hareketi ve hızı da belirsiz olmaktadır. Zeminlerin su hareketine izin veren bu özelliği “su geçirimsizliği” olarak tanımlanmaktadır (Gönül & Çelebi, 2003).

Zeminlerin özelliklerine göre barındırdıkları su miktarları ve özellikleri değişiklik göstermektedir. Genellikle, zemin içindeki bu boşluk ve kanallarda su ile birlikte su

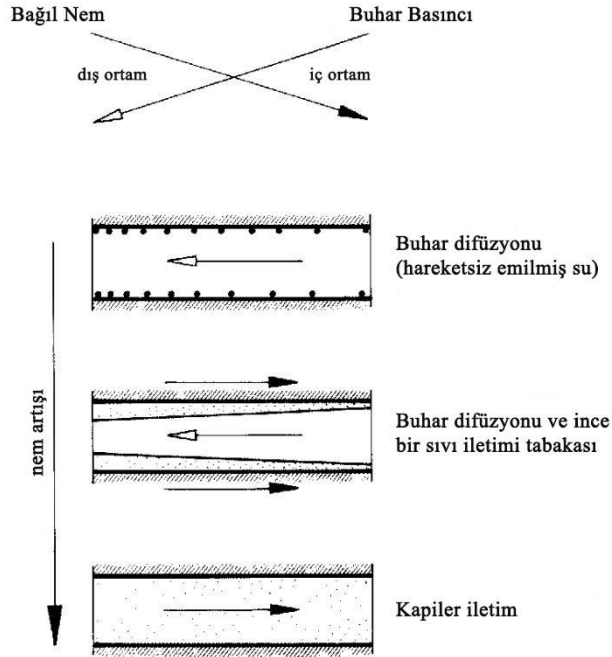
buharı da bulunmaktadır. Bu şekilde su ve su buharını içeren zeminlerden, zeminle temas eden bina bileşenlerine doğru nem geçişi gerçekleşmektedir (Kumaran, Mitalas, & Bomberg, 1994). Zeminle temas eden bina bileşenlerinin gözenekliliğin ve içerdikleri boşlukların etkisiyle, bünyelerine geçen nem hareket etmeye devam ederek iç ortama ulaşır ya da bina bileşenlerinin nemlilik oranının artmasına ve buna bağlı sorunların ortaya çıkmasına neden olur. Diğer yandan, binaların zeminle temas eden temel, döşeme ve duvar gibi elemanları genellikle beton, taş ve tuğla gibi malzemelerden oluşmaktadır. Bu malzemelerin içindeki boşluk ve gözenekler de nem geçişine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle zeminle temas eden bina bileşenlerinde su ve nem geçişine karşı önlemler alınması gerekmektedir (Gönül & Çelebi, 2003).

3.1.2 Isı ve nem geçiş yolları

Bir bina bileşenine sıvı ya da buhar fazında giriş yapan nem, bileşen içinde hareket ederken kendi entalpisini de taşımakta ve buna bağlı olarak ısı geçişlerine neden olmaktadır. Buhar fazda bulunan maddenin ısı etkisi sıvıya göre daha yüksektir çünkü ısı değişimlerine bağlı olarak gerçekleşen faz değişimleri sırasında enerji açığa çıkmakta ve bileşende hapsolmaktadır. Donma durumlarının gözlemlendiği koşullarda ise bu üç faz arasındaki geçişlerden açığa çıkan ısı enerjisi hesaba katılmalıdır (Sandberg, 2009). Bu bölümde, nemin duvar bünyesine geçiş yollarından bahsedilmektedir. Nem geçiş yolları; buhar difüzyonu, buhar difüzyonu ve sıvı iletimi, kapiler iletim olarak üçe ayrılarak anlatılmaktadır.

Şekil 3.2’de, bir bina malzemesinin gözenekleri içindeki nem geçiş yollarını gösteren bir grafik bulunmaktadır. Grafikte; ilk durumda malzemenin gözeneklerindeki nem geçişi sadece buhar difüzyonu yoluyla gerçekleşirken, malzemenin nemlilik oranı arttıkça buhar difüzyonuyla birlikte sıvı iletimi olduğu ve nem miktarı daha da arttığında malzemenin gözeneklerinde kapiler iletim gerçekleştiği görülmektedir (Künzel, 1995). Nem geçiş yolları alt başlıklarda ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

Gözeneklerde Nem Geçiş Yolları



Şekil 3.2 Bir bina malzemesinin gözeneklerinde karşıt yönlerde artan bağıl nem ve buhar basıncı etkisiyle gerçekleşen nem hareketi (Künzel, 1995).

Nem geçiş yolları;

Buhar difüzyonu : Bir maddenin yoğunluğunun yüksek olduğu ortamdan, yoğunluğunun daha düşük olduğu bir ortama geçmesi ya da yer değiştirmesi olayına difüzyon denilmektedir. Difüzyon olayı, her iki ortamda bulunan madde yoğunluğu eşit hale gelinceye kadar devam eder. Su moleküllerinin malzemenin gözenek yapısından daha küçük olması durumunda malzeme içinde su buharı difüzyonu gerçekleşmektedir (Altun, 1997).

Buhar difüzyonu ve sıvı iletimi : Bina bileşeninin nemlilik oranı yükseldikçe, bileşende gerçekleşen sıvı iletimi buhar difüzyonuna göre daha fazla olmakta ve aksi yönde gerçekleşmektedir. Malzemenin gözenek çeperindeki su tabakasının kalınlığı arttıkça bu bölümdeki hareketli su molekülü sayısı da artmakta ve tabakanın incelendiği yöne doğru su molekülü hareketi gerçekleşmektedir. Bu sürece yüzey difüzyonu adı verilmektedir. Yüzey difüzyonu, buhar difüzyonu yoluyla değil sıvı iletimi yoluyla gerçekleşmektedir. Buhar difüzyonunun aksi yönünde gerçekleşmekte olan yüzey difüzyonu, iç ortamdan dış ortama doğru gerçekleşen nem geçişini azaltır.

Kapiler iletim : Bina bileşeninin toplam nemlilik oranı daha fazla yükseldiğinde; iç ortamdan dış ortama doğru buhar difüzyonu yoluyla gerçekleşen nem geçişi, kapiler iletim yoluyla tersine döndürülmüş olur.

Bazı çalışmalarda, buhar difüzyonu ve sıvı iletimi mekanizmalarının birbiriyle olan bağlantıları ihmal edilerek kabuller yapılmaktadır ancak bu kabullerle yapılan çalışmalar yanlış sonuçlar verebilmektedir (Künzel, 1995).

3.1.3 Isı ve nemin ısı yalıtımına etkisi

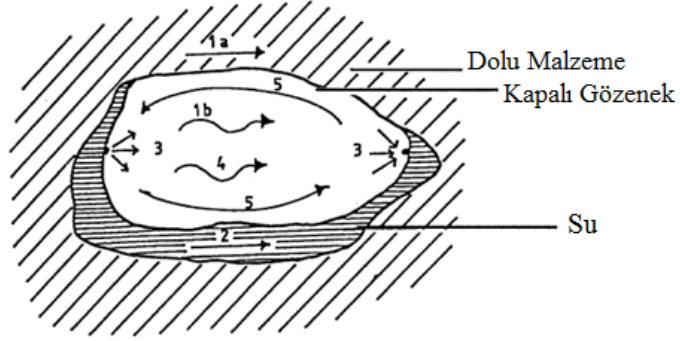
Bina bileşenlerinde meydana gelen su buharı difüzyonu, bu difüzyondan ya da hava sızıntılarından kaynaklanan yoğuşma, istemeden ortaya çıkan su sızıntıları, rüzgarla itilen yağmur suyu ve inşaat nemi gibi nedenlerle ısı yalıtımına ulaşan ve kontrol altına alınmayan nemin ısı yalıtım malzemesi üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Isı yalıtım malzemesi, nemden doğrudan ya da dolaylı olarak etkilenmekte ve uzun süre neme maruz kaldığında ısıl özelliğini kaybetmektedir. Bu bölümde nemin ısı yalıtımı üzerindeki bu etkileri, mekanik etki ve ısıl etki olmak üzere iki başlıkta anlatılmaktadır (Sandberg, 2009).

Mekanik etki: Kontrol edilmeyen nem; ısı yalıtım malzemesinin yaşlanma süresini, boyutlarını, stabilitesini ve teknik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Buna bağlı olarak, ısı yalıtım malzemesinin kullanım ömrü kısalmaktadır. Ayrıca, fiziksel hasara uğrayan bir ısı yalıtım malzemesinin ısıl özelliği de dolaylı olarak zarar görmektedir.

Isıl etki: Su ve buzun, havadan ya da yalıtım malzemesinin içinde yer alan başka bir gazdan daha yüksek ısıl iletkenliğe sahip olması nedeniyle, nemli bir yalıtım malzemesinin ısıl iletkenliği artmaktadır. Yalıtım malzemesinin içinde biriken nem kısa devreye neden olmakta ya da ısıl geçirimsizliği azaltıcı etkide bulunmaktadır. Bu etkiyi hesaplamak için malzemeyi hava, su ve boşluksuz kütle karışımı olarak tanımlayan farklı yöntemler kullanılmıştır ancak malzemelerin boşluk yapısı çok karmaşık olduğundan bu yöntemler genellikle yetersiz kalmıştır. Çünkü nemin malzeme içindeki davranışını, malzemenin gözenek yapısı, büyüklüğü ve dağılımı da etkilemektedir.

Şekil 3.3'te, kapalı gözenekli bir malzeme içinde gerçekleşen ısı ve nem geçişi gösterilmektedir. Şekilde ifade edilen 1a yönündeki hareket katı malzeme içindeki ısı

taşıyımını, 1b malzeme boşluğundaki nemli havayı, 2 su tabakasındaki ısı taşıyımını, 3 yoğuşmayı yani buhar fazında ilerleyen nemin sıcaklık değışimiyle sıvıya dönüşmesini, 4 boşluk çeperleri arasındaki ışıyımı ve boşlukta meydana gelen konveksiyonu ifade etmektedir (Sandberg, 2009).



Şekil 3.3 Nemli bir malzeme içindeki boşlukta ısı akışı (Sandberg, 2009).

3.2 Hıgrotermal Performansın Değerlendirilmesi

Hıgrotermal performansın değerlendirilmesinde kullanılan yöntemleri, test yöntemleri ve hesaplama yöntemleri olarak ikiye ayırabiliriz. Test yöntemleri, standartlarda belirtilen kurallara uygun bir şekilde cihaz ve ekipmanlar kullanarak laboratuvar ortamında ya da alanda yapılan ölçme çalışmalarını kapsamaktadır. Hıgrotermal performansın değerlendirilmesinde kullanılan çok sayıda farklı test yöntemi ve bu yöntemlerin uygulanma biçimlerini tarif eden standartlar bulunmaktadır. Bu bölüm, hıgrotermal performansın değerlendirilmesinde kullanılan hesaplama yöntemleriyle sınırlandırılmıştır. İlk alt bölümde, hıgrotermal performansın değerlendirilmesinde kullanılan hesaplama yöntemleri, elle hesaplama yöntemleri ve benzetimle hesaplama yöntemleri olarak iki alt başlıkta anlatılmaktadır. İkinci alt bölümde, hıgrotermal performansın hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan benzetim araçları hakkında bilgi verilmektedir. Son alt bölümde; benzetim araçlarından biri olan WUFI 2D yazılımından ve yazılımın kullanım alanlarından bahsedilmektedir. Alt bölümlerde, yazılıma ait girdiler ve çıktılar anlatılmaktadır.

3.2.1 Hıgrotermal performansın hesaplama yöntemiyle değerlendirilmesi

1930-1940'lı yıllardan beri soğuk iklimlerdeki nem problemini çözmek üzere pratik çözümler üretilmeye çalışılmaktadır. İlk dönemlerde genellikle savunulan düşünce,

kış döneminde yalıtım katmanının sıcak yüzeyi olan iç yüzeyine buhar kesici uygulamasının yapılması olmuştur. İlerleyen zamanlarda bu düşünce dış duvarların dış yüzeyine buhar kesici uygulaması yapma gerekliliğinin beş kat daha fazla olduğu şeklinde düzeltilmiştir. Daha sonra yapılan yeni araştırmalarla çözümler sıcak nemli iklim bölgeleri için de dile getirilmiştir. Ancak bu çalışmalar bina kabuğundaki nem geçişiyle ilgili problemlerin en önemli kaynağı olmadığı sonradan anlaşılan buhar difüzyonu üzerinde yoğunlaşmış ve bunun dışındaki nem geçiş mekanizmasını kapsamamıştır. Ayrıca sıcak iklimlerle ilgili genellemeler yapılırken aşırı sıcak ve aşırı nemli iklimler düşünülmüştür. Bu araştırmalardan yapılan çıkarımlarla, birçok iklim bölgesinde bina kabuğu yaz ya da kış dönemi düşünülerek tasarlanmış ve yapılan tasarımın yılın geri kalan kısmına uygun olup olmadığına dikkat edilmemiştir. İlerleyen zamanlarda deneyimlerden elde edilen sonuçlar, genelleme ve kabullerin farklı koşullar altındaki farklı tasarımlar için etkili çözümler sağlamadığını göstermiştir (TenWolde & Bomberg, 2009)

Bütün bu deneyim ve araştırmalardan elde edilen sonuçlarda açık olarak görülmektedir ki, alışılmış kurallar bina kabuğundaki nem kaynaklı problemlere engel olmaya yetmemektedir. Günümüzde nem analizi yapmaya yarayan elle ya da bilgisayar kullanımına dayalı çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler aracılığıyla bileşenlerin nem içeriği, yüzey sıcaklıkları ve yoğunlaşma bölgelerini tespit etmek mümkündür. Elle yapılan hesaplamalarda, daha önceden tespit edilen koşullar kullanılmakta ve sonuçlar da bu seçilen koşulların geçerliliğine dayanmaktadır. Ayrıca elle hesaplama yöntemlerinde nem akış sürecine bağlı sonuçlar elde edilememektedir. Bilgisayara dayalı benzetim yöntemleri ise hava koşullarına ait verilere dayanmakta ve çoğunlukla özel bir konuma ait “ortalama yıl” olarak adlandırılan bir yıla ait saatlik hava durumu bilgisini kullanmaktadır. Gerçek iklim verisi kullanması nedeniyle benzetim yöntemlerinden, nem akış süreçlerini gösteren sonuçlar da elde edilebilmektedir (Trechsel H. , 2003).

Uzun yıllar boyunca bina kabuğundaki nem hareketliliğini tespit etmek amacıyla kullanılan ve bina elemanında gerçekleşen nem hareketlerinin belli bir zamandaki durağan halini elle hesaplama yapmaya yarayan yöntemler, dış ve iç ortam sıcaklıkları, nemlilik oranları gibi bir takım kabullere dayanmaktadır ve çoğu yöntemde sınırlı değerler kullanılmaktadır. Bu sınırlamalar nedeniyle, elle hesaplama yöntemlerinden elde edilen sonuçların yorumlanması da zor olmaktadır. Yine de bu yöntemler, uzmanlar tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır ve buhar geciktirici

malzemelerle ilgili bina standartlarının düzenlenmesinde bu yöntemlerden yararlanılmaktadır.

Günümüzde, bina kabuğundaki ısı ve nem geçişiyle ilgili çeşitli mekanizma ve etkileşimlerin ayrıntılı bir şekilde hesaplanmasını sağlayan ve matematiksel modellere dayanan benzetim yöntemleri yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Sürekli olarak iyileştirilen bu yöntemler, tasarımcılar için yararlı birer araç haline getirilmektedir. Basit düzeydeki matematiksel modeller, çok katmanlı bina kabuğu kesitlerinde saatlik hava durumu verileri altında gerçekleşen su buharı difüzyonunun hesaplanmasına dayanmaktadır. Daha karmaşık düzeydeki modellerde; sadece su buharı difüzyonu değil, bunun yanında hava akışı, dış yüzeyden yağmur suyu emilimi ve yağmur suyu kaçakları da hesaplanmaktadır (TenWolde & Bomberg, 2009).

Bu bölümde, tasarımcıların bina kabuğundaki nem geçiş mekanizmasını hesaplama yoluyla kontrol etmesine olanak sağlayan yöntemler iki başlıkta anlatılmaktadır. Birinci alt bölümde yaygın olarak kullanılan elle hesaplama yöntemlerinden ve ikinci alt bölümde bilgisayarlı benzetimle hesaplama yöntemlerinden bahsedilmektedir.

3.2.1.1 Elle hesaplama yöntemleri

Elle hesaplama yöntemleri, iki ya da daha fazla bina bileşeni kesitinin belli çevresel koşullar altındaki farklı yoğuşma eğilimlerini karşılaştırmak için kullanılan ve durağan hesaplama yapmaya yarayan grafik yöntemleridir. Bina kabuğunda (dış duvarlar, çatılar, döşemeler) gerçekleşen yoğuşma ihtimalini hesaplamada kullanılan elle hesaplama yöntemlerinin en çok bilinenleri; Yoğuşma noktası (Dew-point) grafiği, Glaser grafiği ve Kieper grafiğidir.

Bu üç yöntemde; basit buhar difüzyonu denklemleriyle hesaplanan bina kabuğundaki buhar basıncı, bina kabuğunun sıcaklık derecesine bağlı olan doyma basıncıyla grafik çizilerek karşılaştırılır. Kabuk kesitinde buhar basıncının doyma basıncından fazla olduğunun gözlendiği noktada yoğuşma olduğu tespit edilir. Dew-point grafiği yaygın olarak Kuzey Amerika'da kullanılırken, Glaser grafiği Avrupa'da ve benzeri iklimlere sahip yerlerde kullanılmaktadır. Buhar difüzyonu teorisine dayanan bu yöntemler, buhar difüzyon denklemleri ve grafik prosedürleriyle birbirinden farklılık göstermektedir.

Bazı araştırmacılar elle hesaplama araçlarının çeşitli sınırlamaları nedeniyle kullanılmaması gerektiğini savunmaktadır. En önemli sınırlamanın da bina kabuğu yüzeylerinde gerçekleşen uzun süreli yoğunlaşmanın neden olduğu küf oluşumu gibi durumlara karşı koruma önerisi getirmemeleri olduğu düşünülmektedir. Bu bölümde anlatılmakta olan Dew-point, Glaser ve Kieper grafik yöntemlerinin sınırlamaları şunlardır (TenWolde & Bomberg, 2009) :

- Yoğuşma tahmini yaparken nemin neden olduğu tahribat hakkında bilgi vermezler,
- Hava sızıntısını göz ardı ederler,
- Buhar difüzyonu dışındaki nem akış mekanizmalarını (örn. kapilarite) göz ardı ederler,
- Bu üç yöntem de durağan durumlar için sonuç verdiği için ısı ve nem depolama hakkında fikir vermezler,
- Nemin buharlaşması ve yoğuşması sırasında absorbe edilen ya da açığa çıkan ısının neden olduğu sıcaklık değişmesini göz ardı ederler,
- Bu yöntemler tek boyutludur. Bu nedenle; köşeleri, delikleri, çatlakları, çivi yaralarını, ısı köprülerini kapsamazlar.

Elle hesaplama yöntemleri kullanılırken, sayısal hesaplama yapılarak kabuk kesitini gösteren bir grafik çizilir. Çizilen grafikte sıcaklık ve buhar basıncı eğrileri oluşturulur. Sayısal hesaplamalar yapılırken bina kabuğunun sıcaklığına bağlı olan doyma buhar basıncı ve basit buhar difüzyon denklemleri esas alınmaktadır. Grafik üzerinde buhar basıncının, doyma buhar basıncından fazla olduğu bölgeler tespit edilir ve bu bölgelerde yoğuşma olabileceği tahmin edilir. Ayrıca yoğuşma olan bölgelerde, bina kabuğu sıcaklığının donma sıcaklığına yakın olması durumunda bina bileşenlerinde donma-çözülme kaynaklı tahribatların meydana gelebileceği yorumu yapılır.

Elle hesaplama yöntemlerinde göz ardı edilen kapilarite etkisinin ve hava sızıntılarının nem geçişini hızlandırıp yoğuşma oranını artırma ihtimali bulunmaktadır. Bu nedenle elle hesaplama yöntemleri yüksek nem depolama potansiyeli olan (ahşap, plywood, vb.) bir malzeme ya da duvar, çatı bileşeni için hasar bilgisi verememektedir (TenWolde & Bomberg, 2009).

Dew-point grafiği: Dew-point grafiği için kullanılan denklem, buhar basıncı yerine buhar yoğunluğundaki değişimi tetikleyici kabul eden Fick Yasası'na dayanmaktadır. Denklemdede kullanılan malzemenin su buharı geçirgenliği (δ , kg/m.s), o malzemenin 1 m/in kalınlığının geçirgenliğini ifade etmektedir. Bu nedenle, malzemenin su buharı geçirgenliğinin, malzemenin kalınlığıyla ters orantılı olduğu kabul edilmektedir.

Bir bina kabuğu kesitinde yoğuşma kontrolü yapmak amacıyla dew-point grafik yöntemi kullanılırken aşağıdaki adımlar takip edilir (TenWolde & Bomberg, 2009) :

- Sıcaklık dūřuřları ve yūzey sıcaklıkları hesaplanır,
- Sıcaklıklara denk gelen doyma buhar basıncı bulunur,
- Buhar basınçları ve buhar basıncındaki dūřuřlar hesaplanır,
- Doyma basıncının, buhar basıncından yūksek olup olmadığını kontrol edilir, eğeryleyse, yoğuşma gerçekleşmeyeceği tespit edilir.

Eğer yoğuşma gerçekleştiği tespit edilirse;

- Yoęuřma yūzeyi seçilir,
- Bu yūzeydeki buhar basıncı doyma buhar basıncına eřitlenir,
- Buhar basınçları tekrar hesaplanır,
- Eęer buhar basıncının doyma buhar basıncından yūksek olduğu görülürse son adımlar farklı bir yoğuşma yūzeyi seçilerek tekrarlanır. Eęer gerekiyorsa, yoğuşma oranı hesaplanır.

Glaser grafiği: ISO 13788 standardında tanıtılan Glaser grafik yöntemi bina kabuğundaki kritik yūzey nemliliği ve çatlaklarda meydana gelen yoğuşmaları hesaplamak için kullanılmaktadır. Glaser grafiği, dew-point grafik yönteminin Avrupa'da yaygın olarak kullanılan bir varyasyonudur. Glaser grafiğinin dew-point yönteminden tek farkı yatay aksıdır. Dew-point grafiğinde yatay aksta malzeme kalınlığı kullanılırken, Glaser grafiğinde yatay aksta buhar difüzyon dayanımı kullanılmaktadır. Bu nedenle, dayanımı yūksek olan malzeme grafikte daha belirgin

bir şekilde ifade edilir. Bu gösterim şekli sayesinde, buhar basıncı düzgün çizgilerle ifade edilebilmektedir. Doyma buhar basıncı ise dew-point yönteminde olduğu gibi sıcaklığa bağlı olarak hesaplanır (TenWolde & Bomberg, 2009).

Kieper grafiği: Bu grafik de Dew-Point ve Glaser grafiklerinde olduğu gibi buhar difüzyonu teorisine dayanmaktadır. İç ve dış ortam koşulları aynı olduğu müddetçe farklı duvar alternatifleri için aynı grafiğin kullanılıyor olması ve yoğuşma tespitinin yapıldığı durumlarda hesaplamaların tekrarlanmasına gerek olmaması bu yöntemin kazançlarıdır. Kieper diyagramı, buhar basıncı ve doyma basıncı yerine x ve y ekseninde parametre olarak duvarı oluşturan malzemelerin ısı özelliklerini ve buhar difüzyon özelliklerini kullanmaktadır (TenWolde & Bomberg, 2009).

3.2.1.2 Benzetimle hesaplama yöntemleri

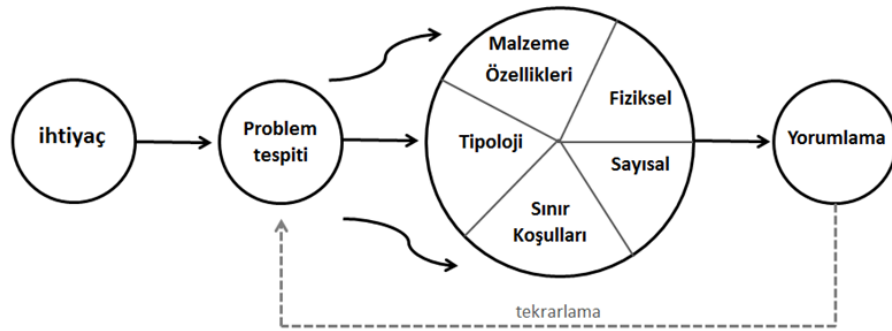
BS EN 15026 standardında ayrıntılı olarak anlatılan higrotermik benzetim yöntemleri, Künzl tarafından çok katmanlı bir bina kabuk bileşenindeki bir ve iki boyutlu ısı ve nem geçişlerinin sayısal olarak hesaplanma yöntemleri olarak tanımlanmaktadır (1995). Elle hesaplama yöntemleri durağan bir durum için tek boyutlu ısı ve nem iletim hesabı yaparken, benzetim yöntemleriyle durağan hesaplamanın yanında ısı ve nem geçiş sürecini kapsayan iki boyutlu dinamik hesaplamalar yapılabilmektedir. Son yıllarda, yaygın olarak kullanılmaya başlanan higrotermik benzetim yöntemleri gerçekçi iklim koşulları ve çevresel şartlar altında hesaplama yapma olanağı sunmaktadır. Higrotermik benzetim yöntemleriyle hesaplama yapılabilecek durumlar şunlardır:

- Yapım sırasında bina bileşenlerinde meydana gelen nemlenmenin kuruması
- Kış mevsiminde meydana gelen difüzyon sonucu çatlaklarda meydana gelen yoğuşma ve nem birikimi
- Şiddetli yağış basıncı nedeniyle bina bileşenine nem nüfuz etmesi
- Dış yüzeyden iç yüzeye doğru nem geçişi olması nedeniyle yaz mevsiminde meydana gelen yoğuşma
- Uzun dalga ışıınının soğutucu etkisiyle dış yüzeyde meydana gelen yoğuşma

- İletim ve buharlaşma yoluyla oluşan nemden kaynaklanan ısı kayıpları (BS EN 15026, 2007).

Bir bina bileşeninin higrotermal performansını değerlendirmek için higrotermik benzetim araçlarından biri kullanıldığında birtakım verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler; bileşen özelliklerinin, bileşeni oluşturan malzeme özelliklerinin ve çevresel koşulların etkileriyle ilgilidir. Çalışmaya başlamadan önce, bir problem tespit edilmeli ve bu problem üzerinden yapılacak olan benzetim çalışmasının kapsamı tanımlanmalıdır. Çalışmaya başladıktan sonra, higrotermal performans değerlendirmesi yapılacak olan bina bileşeninin katmanlaşma detayları belirlenmelidir. En önemlisi, böyle bir çalışmanın yapılabilmesi için bir ön bilgiye ihtiyaç olduğu unutulmamalıdır ve hazırlık aşamasında gerekli tüm araştırmalar yapılmalıdır.

Şekil 3.4'te, higrotermik benzetimin aşamalarını gösteren bir diyagram görülmektedir. Diyagrama göre, öncelikle ihtiyaçtan kaynaklanan bir problem tespiti yapılır. Daha sonra problemi oluşturan bina elemanına ait tipoloji, malzeme özellikleri ve sınır (başlangıç, iklim ve yüzey) koşulları gibi veriler yazılıma işlenir. Hesaplamadan çıkan fiziksel ve sayısal sonuçlar yorumlanır. Yorumlardan edinilen bilgiye göre problem verileri güncellenir ve yeni veriler benzetim aracına girilerek aynı işlem tekrarlanır.



Şekil 3.4 Higrotermik (ısıl ve nemsel) modelleme (Straube & Schumacher, 2006).

Günümüzde, higrotermal performansın benzetim yöntemiyle hesaplanması giderek yaygınlaşmaktadır. Higrotermik benzetim araçları, soğuk iklim bölgelerinde ahşap bina elemanları başta olmak üzere bina performansını değerlendirmeye yönelik birçok değişik konuda kullanılıyorken, Türkiye’de son yıllarda özellikle yığma dış

duvar bileşenlerinin higrotermal performansının değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalarda bu araçlardan yararlanılmaktadır.

3.2.2 Benzetim araçları

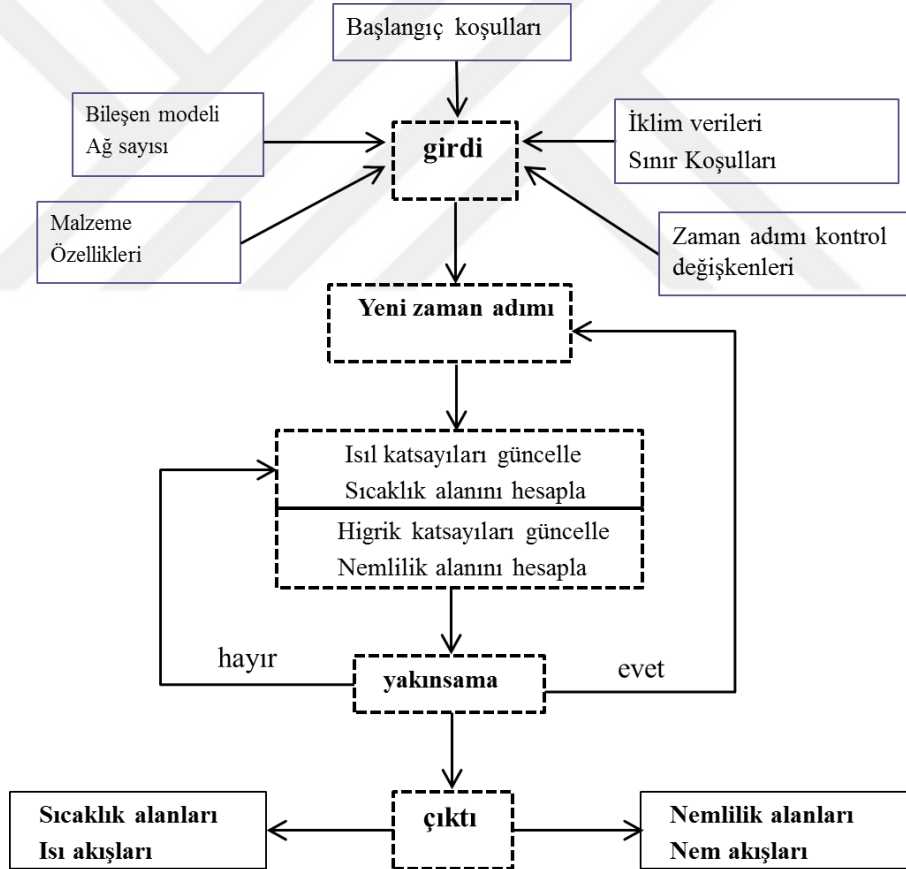
Önceki bölümde; bina bileşenlerinin bünyesinde belli bir süreç içinde gerçekleşen ısı ve nem geçişlerini ve buna bağlı olan higrotermal performansı hesaplamak için kullanımının yaygınlaştığından bahsedilen benzetim araçları, profesyonel araştırmalarda da oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Higrotermik benzetim araçları matematiksel karmaşıklıklarına göre farklılık göstermektedir. Bu karmaşıklık, benzetim araçlarının durağan ya da dinamik hesaplama yapması, hesaplamada kullandığı verilerin miktarı ve erişilebilirliği gibi etmenlere göre değişmektedir. (Delgado, Barreira, Ramos, & de Freitas, 2013).

Bu benzetim araçlarının bir kısmı tek boyutlu ve durağan hesaplama yaparken, bir kısmı bina bileşen kesiti üzerinde iki boyutlu ve dinamik hesaplamalar yapmaktadır. CHMC (Canada Mortgage and Housing Corporation)'nin yaptığı bir araştırmada bu amaçla geliştirilmiş olan 45 yazılım incelenmiş ve yazılımların üçünün gerekli ölçütleri karşılayarak, farklı bina kabuğu bileşenlerinin higrotermal performansının değerlendirilmesinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Bu yazılımlar; MATCH, WUFI ve MOIST'tir ve işlevleri bina bileşenlerinin içerisinde gerçekleşen ısı ve nem akışını hesaplamaktır (Brock, 2005).

3.2.3 WUFI 2D benzetim aracı

WUFI-ORNL/IBP yazılım ailesinin parçası olan WUFI 2D; Bina Bileşenlerinin ve Bina Elemanlarının Higrotermal Performansı – Nem Transferinin Sayısal Benzetimle Değerlendirilmesi (EN 15026 - Hygrothermal performance of building components and building elements — Assessment of moisture transfer by numerical simulation) standardına göre hesap yaparak bileşenlerin ısı ve nemsel davranışlarını araştırma yöntemine dayanan iki boyutlu bir benzetim aracıdır. WUFI 2D benzetim aracı; yapım esnasında meydana gelen nemlenmenin etkisi altındaki bileşenlerin kuruma zamanını, yoğunlaşma riskini, dış bina bileşenlerinin üzerindeki rüzgarla itilen yağmur suyunun etkisini, onarım ve tadilat uygulamalarının etkisini, yağmur ve rüzgar etkisi altındaki duvar ve çatıların higrotermal performansını hesaplamak için kullanılmaktadır (Karagiozis, Künz, & Holm, 2001).

Şekil 3.5'te bina bileşenlerinde gerçekleşen ısı ve nem akışlarını hesaplamak için kullanılan WUFI 2D aracının hesaplama adımlarını ve kullanım tekniğini anlatan akış diyagramı görülmektedir. Diyagrama göre, benzetim aracında hesaplama yapmak için bileşen modeli, ağ sayısı, malzeme özellikleri, başlangıç koşulları, iklim verileri, sınır koşulları ve zaman adımı kontrol değişkenleri girdi olarak benzetim aracına işlenir. Zaman adımının belirlenmesinin ardından, malzemelerin ısı ve higrik (nemsel) katsayıları güncellenerek sıcaklık ve nemlilik alanları hesaplanır. Etkin ve doğru sonuçlara ulaşana dek, bilgiler güncellenerek ve zaman adımı değiştirilerek hesaplamalar tekrarlanır. Benzetim bittiğinde, modellenen bina bileşeninin bünyesinde belirlenen süre içerisinde gerçekleşen ısı ve nem akışları ile sıcaklık ve nem alanları görüntülenir.



Şekil 3.5 WUFI yazılımının arayüzü (Künzel, 1995)

Bu bölümde, WUFI 2D aracında hesaplama yapmak için sağlanması gereken veriler anlatılmaktadır. İlk bölümde WUFI 2D aracının girdileri olan; bina bileşeninin modeli, ağ sayısı, yüzey ve iklim koşulları, malzeme özellikleri, başlangıç koşulları

ve hesaplama bilgileri hakkında bilgi verilmektedir. İkinci bölümde ise hesaplama sonunda elde edilen sonuçlardan bahsedilmektedir.

3.2.3.1 WUFI 2D benzetim aracının girdileri

WUFI 2D benzetim aracında, benzetimi yapılacak bina elemanının kesitini oluşturduktan sonra bina elemanını meydana getiren her bir katman için malzeme tanımlamaya ve çevresel koşulları belirlemeye olanak sağlayan bir ara yüz bulunmaktadır. Bu kapsamda WUFI 2D aracına; bina bileşenine ait katmanlaşma, bileşenin yönelme ve eğimleri, malzeme özellikleri, iklim verileri, sınır koşulları ve benzetim süresi girdi olarak işlenmektedir.

Bina bileşeninin modeli: Çalışmayla ilgili genel bilgiler yazılıma işlendikten sonra “geometry” sekmesinde, benzetimi yapılacak olan bir ya da daha fazla katmandan oluşan bir bina elemanı kesiti ya da bağlantı detayı kesiti oluşturulmaktadır. Benzetim aracı içinde bileşen kesiti oluşturulurken; her bir katmanın kalınlığını, yüksekliğini ve konumunu tarif eden koordinatlar benzetim aracına girilmektedir. Lisanslı WUFI 2D benzetim aracının güncellenerek 3.3 sürümüne yükseltilmesinin ardından, cad ortamında çizilen bileşen kesitlerinin benzetim aracına aktarılması mümkün hale gelmiştir.

Ağ sayısı: Benzetim aracının içinde yer alan ve hesaplamaların hassasiyet derecesini etkileyen bir diğer girdi de kesit için “grid” sekmesinde belirlenen ağ sayısıdır. Ağ sayısı, X ve Y yönünde sayısal değerler girilerek belirlenmektedir. Girilen değerlere göre benzetim aracı, bir ızgara aracılığıyla, oluşturulan kesiti hesaplama sonunda her biri ayrı ayrı kontrol edilebilecek küçük parçalara bölmektedir. Ağ sayısı, katmanların arakesitine yaklaştıkça ve kesitin çeperine yakın bölümlere doğru giderek sıklaşacak biçimde benzetim aracı tarafından oluşturulmaktadır. Bu adımda, kullanıcının hesaplama sırasında kullanmak istediği ağ sayısını oluşturacak verileri X ve Y eksenine girmesi gerekmektedir. Ağ sayısı girilmesine ek olarak, X ve Y koordinatları için hesaplama hassasiyeti “coarse”, “medium”, “fine” ya da “manual” olarak ayarlanabilmektedir. (Künzel, 1995).

İklim ve yüzey koşulları: WUFI 2D yazılımında benzetim yapılırken gerekli olan bir diğer girdi ise “boundary conditions” sekmesinde tanımlanan, iç ve dış ortamda etkili olan iklim koşullarıdır. Benzetim aracı, gerçekçi iklim koşullarının veri olarak

kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Dış ortama ait iklim koşullarını tanımlamak için WUFI 2D kütüphanesinde bulunan belirli şehir ve merkezlerin gerçek iklim verileri kullanılabildiği gibi, kütüphanede yer almayan merkezlerin iklim verilerine ait iklim dosyası benzetim aracına aktarılabilmektedir. İç ortam şartları için, yine yazılımın kütüphanesinde bulunan EN 13788, EN 15026 ya da ASHRAE 160 standardına dayanan veriler kullanılabilmekte ya da kullanıcı tarafından belirlenen veriler tek başına ya da bu standartlarla birleştirilerek benzetim aracına girilebilmektedir. Yönlenme, azimut, kısa-uzun dalga ışıınımları, ısı transfer katsayısı, yağmur suyu emme katsayısı gibi değişkenlere ait veriler kullanıcı tarafından belirlenerek benzetim aracına elle işlenir. Bu girdiler için, benzetim aracıyla ilgili kaynaklar tarafından önerilen standart değerler kullanılabilir ya da iklime ve bina elemanının bulunduğu konuma göre değişen özel durumlara ait veriler oluşturulabilir. Bina elemanının yönlenmesi, rüzgarla itilen yağmur suyunun etkisi, havanın sıcaklık ve nemliliği, iç ortam nemliliği gibi veriler; hesaplama sonuçlarının etkinliğini ve doğruluğunu etkileyecek parametrelerdir.

Malzeme özellikleri: WUFI 2D ile higrotermal benzetim yaparken, bileşeni oluşturan malzemelerin benzetim aracına işlenen teknik özelliklerinin sayısı benzetimin doğruluğunu etkilemektedir. Malzemelerin teknik özellikleri; ortamın sıcaklığına, malzemenin nem içeriğine, malzemenin yaşına ve malzemenin başka malzemelerle kimyasal tepkimeye girip girmemesine bağlı olarak farklılık gösterebilir. WUFI 2D higrotermal benzetim aracındaki “materials” sekmesinde malzeme oluşturulurken tanımlanan malzeme özellikleri; hacim yoğunluğu (bulk density), gözeneklilik (porosity), özgül ısı kapasitesi (specific heat capacity), ısı iletkenlik (thermal conductivity) ve su buharı difüzyon direnci (vapour permeability)’dir. Malzemelerin teknik özellikleri testle ölçme yöntemleriyle tespit edilmektedir. Farklı malzemeler için ölçme koşullarını ve yöntemlerini tanımlayan çeşitli standartlar bulunmaktadır. (Delgado, Barreira, Ramos, & de Freitas, 2013).

WUFI 2D kütüphanesinde, katmanları oluşturan malzemelerin seçiminde kullanıcının yararlanabileceği ve hesaplama sürecini hızlandıracak, belli standart ve ölçütlere göre tanımlanmış malzeme seçenekleri yer almaktadır. Güncellemelerle birlikte kapsamı geliştirilen malzeme kütüphanesine, çeşitli firmaların ürettiği bina malzemeleri de eklenmektedir. Bunun yanında, kütüphanede bulunan malzeme seçeneklerinin yeterli olmadığı ya da daha hassas hesaplama gerektiren özel

durumlar için kullanıcı tarafından malzeme özellikleri girilerek yeni bir malzeme oluşturma olanağı da bulunmaktadır. Kullanıcı tarafından malzeme oluşturulurken, standartlarda geçen malzeme özelliklerinden, test yapılarak elde edilen sonuçlardan ya da ilgili malzemeyi üreten firmadan alınan verilerden yararlanılabilir.

Başlangıç koşulları: WUFI 2D benzetim aracına girdi olarak işlenen bir diğer ölçüt ise bina elemanı kesitini oluşturan katmanlar için belirlenen başlangıç koşullarıdır. Örneğin yeni inşa edilmiş bir bina bileşenini oluşturan malzemelerin, inşa neminin etkisiyle benzetim yapılan süre boyunca gerçekleştirdiği davranışın doğru görüntülenebilmesi için hesaplama başındaki nemlilik durumunun benzetim aracına işlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, her bir malzeme için başlangıç sıcaklığı ve bağıl nem değeri benzetim aracının “initial conditions” sekmesinde belirtilmelidir.

Hesaplama bilgileri: Son olarak; benzetim aracına hesaplama yapılması istenen tarih aralığı, hesaplama periyotları ve hesaplama süresinin uzunluğu girilir. Bu adımda, benzetim aracının ısı ve nem iletimi ile ilgili hesaplamaları hangi ayrıntıda yapacağı ve sonuç olarak hangi verilerin elde edileceği de belirlenmektedir. Bütün veriler girildikten sonra hesaplama başlatılır. Girilen verilerin miktarına, seçilen ağ sayısının hassasiyetine ve bina elemanının tanımlanma detayına bağlı olarak benzetim süreleri değişmektedir. Hesaplama bittikten sonra kesit üzerinde kontrol yapılmak istenen bir noktaya, bir katmana ya da modellenen kesitin tümüne ait hesaplama sonuçları görüntülenir.

3.2.3.2 WUFI 2D benzetim aracının çıktıları

WUFI 2D aracından benzetim sonuçları iki boyutlu grafikler olarak ya da sayısal veriler olarak alınabildiği gibi, ısı ve nem iletim süreci üç boyutlu dinamik grafikler şeklinde de izlenebilmektedir. Benzetim aracından alınan başlıca verilerin neyi ifade ettiği bu bölümde açıklanmıştır (Künzel, 1995) :

Su içeriği (water content): Çevresel koşullara bağlı olarak, bir bina malzemesi içinde bulunan nem; katı, sıvı veya gaz fazında olabilmektedir. Ayrıca, malzemenin mikrogözeneklerinde tam olarak tanımlanamayan fiziksel durumlarda da bulunabilmektedir. Bu farklı fiziksel durumları ölçmek genellikle zor olduğu için ve doğal koşullar altında fiziksel durumları sürekli değiştiği için, hepsinin toplamını

hesaplamak faydalı olmaktadır. Bu toplam, su içeriği (water content) olarak adlandırılmaktadır.

Bağıl nem (relative humidity): Teorik olarak, bir bina malzemesi bütün gözenekleri suyla dolana kadar su emebilir. Ancak bu durum, malzemenin gerçek koşullar altındaki nem kapasitesiyle ilgili bilgi vermemektedir. Bu nedenle, çevresel koşullar ile malzemenin nem içeriği arasında bir bağlantı tanımlamak önemlidir. Bu bağlantı da bağıl nem oranı olarak açıklanmaktadır (Künzel, 1995).

3.3 Higrotermal Performans İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Bu bölümde, bina elemanlarının higrotermal performansının test yöntemiyle ve benzetim yöntemiyle değerlendirilmesi konularında yapılan örnek çalışmalardan bahsedilmektedir. Çalışmaların amacı, yöntemi ve kontrol parametreleri hakkında bilgi verilmektedir. İlk alt bölümde, higrotermal performansın değerlendirilmesinde bilgisayarlı benzetim yönteminin kullanıldığı örnek çalışmalar anlatılmaktadır. İkinci alt bölümde, higrotermal performansın değerlendirilmesinde test ve benzetim yöntemlerinin birlikte kullanıldığı çalışmalardan örnekler verilmektedir.

3.3.1 Higrotermal performansın benzetim yöntemiyle belirlenmesi

Johansson ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, Gothenburg – İsveç ve Bergen-Norveç iklimlerindeki mevcut binalarda yalıtım aracılığıyla yapılan iyileştirmelerde kullanılan vakumlu yalıtım panellerinin (VIP) higrotermal analizi yapılmıştır. Çalışma kapsamında WUFI 2D benzetim aracı kullanılmıştır. Çalışmada; içinden ahşap kiriş geçen bir tuğla dış duvarda, içerden VIP yalıtımı yapılması durumunda oluşabilecek hasarları incelemek; kiriş bitimiyle ve yalıtımla ilgili uygun tasarım koşullarını tespit etmek amaçlanmıştır. Benzetim hesaplamalarındaki değişkenler; iki farklı iklim, üç farklı duvar kalınlığı, dört farklı tuğla tipi, altı farklı harç tipi olarak belirlenmiştir. Her bir değişkenin yalıtım performansı üzerindeki etkisini görmek için diğerleri sabit tutularak hesaplama yapılmıştır (Johansson & diğerleri, 2014).

Başka bir çalışmada, duvarlarda kılcallık yoluyla zeminden yığma duvarlara yükselen nemin ölçümünden bahsedilmiş ve örnek bir uygulama yapılmıştır. Örnek uygulamada, WUFI 2D benzetim aracıyla hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Benzetim çalışması, 2 metre yüksekliğindeki yedi farklı duvar alternatifi için yapılmıştır. Bu duvarlar; 60 cm kumtaşı yığma duvar (yatay harçlı), 60 cm kumtaşı

yığma duvar (yatay ve düşey harçlı), 60 cm tuğla yığma duvar ve 8 cm mineral yün yalıtımı, 60 cm kumtaşı yığma duvar ve 5 cm içten EPS yalıtımı, 60 cm kumtaşı yığma duvar, 60 cm kumtaşı yığma duvar (zeminden su emmesi engellenmiş) ve 60 cm kumtaşı yığma duvar (zeminden su emmesi engellenmiş-başlangıç nemi yüksek)'dir. Çalışma sonunda, yapılarda zeminden kılcallıkla yükselen suyun WUFI 2D ile ölçülebileceği görülmüştür. Bu problem için alınabilecek en iyi önlemin zeminde su emilimini önlemek olduğu sonucuna varılmıştır. Duvarlarda yüksek bölümlerdeki nem probleminin kılcallıkla yükselen sudan kaynaklanmayabileceği ve higroskopik tuzların birikimi ya da yetersiz yağmur korunumu ihtimaline karşı araştırmalar yapılması gerektiği belirtilmiştir. Benzetim çalışmalarının bu sorunları belirlemede az maliyetli etkin çözümler sunduğu öne sürülmüştür (Holm & Künz, 2003).

Bir başka çalışmada, tarihi binaların duvarlarında yapılan iyileştirmelerin enerji etkinlik üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Seçilen benzetim programı için girilen veriler ve hesaplama yöntemleri açıklanmıştır. Bu yöntemle, benzetim çalışmasından elde edilen saatlik sonuçlar kullanılarak korozyon içeriği ve donma-çözünme sayımı hakkında bir rapor geliştirilmiştir. Çalışmada, WUFI 2D ile hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Ottawa, Toronto, Winnipeg iklimleri için güney; Halifax ve Vancouver iklimleri için doğu yönlenmesine göre hesaplama yapılmıştır. Modellenen mevcut duvar katmanları dıştan içe doğru; 200mm kumtaşı, 600mm dolu tuğla, 25mm hava boşluğu, 100mm terakota karo, 25mm alçı sıvadır. Daha sonra; mevcut duvara içerden 50mm EPS yalıtım levhası ve 12mm kaplama uygulandığı durum (WallA) ile içerden 89mm cam yünü yalıtım, 6mm polietilen su yalıtımı ve 12mm kaplama (WallB) uygulandığı durum modellenerek hesaplanmıştır. Çalışma sonuçlarının kabullere ve genellemelere dayandığı belirtilmiştir. Yağmur suyu emilimi ve sızıntılarda meydana gelen yoğunlaşmaların yerinde incelenmesi ve detaylı olarak modellenmesi önerilmiştir. Isı köprülerinin ve bileşenlerin birleşim detaylarının sebep olduğu problemlerin de yerinde incelenip detaylandırılması gerektiği belirtilmiştir (Straube & Schumacher, 2006).

Başka bir çalışmada, bina bileşenlerinde donma-çözünme süreçlerinde meydana gelen donma hasarlarına değinilmektedir. Bu tarz sorunlarla, ılık kış koşullarına sahip iklimlerde de sıklıkla karşılaşıldığı vurgulanmaktadır. Bu bağlamda, donma kaynaklı sorunları değerlendirirken tek kriter olarak dış hava sıcaklığını almanın yanlış olduğu belirtilmiş ve malzeme özelliklerinin önemi vurgulanmıştır. Çalışmada WUFI 2D ile

hesaplama yöntemi kullanılarak, bina bileşenlerinin içinde meydana gelen donma-çözülme döngüsünü değerlendirmek üzere malzeme içindeki nem miktarlarının analiz edilmesi amaçlanmıştır. Holzkirchen kentinin farklı yıllardaki iklim verileriyle; kalsiyum silikat beyaz bloktan yapılan bir duvar için hesaplamalar yapılmıştır. Boyanmış ve boyanmamış olmak üzere iki alternatif kullanılmıştır. Boyanmış duvarın buhar difüzyonuna olan direnci fazla olduğundan, çok daha az kuruma gerçekleştiği görülmüştür. Boyasız duvarda rüzgarla-itilen yağmurun ardından donma olayı gerçekleştiği takdirde, hasar meydana geleceği tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, farklı iklim etkilerinin duvardaki donma kaynaklı hasar ihtimalini etkileyebileceği görülmüştür. Rüzgarla itilen yağmurun da donma olayı üzerinde önemli bir etkisinin olduğu yorumu yapılmıştır (Sedlbauer & Künz, 2007).

Bir başka çalışmada, bina bileşenlerinin ısı ve nemsel performanslarını değerlendirmek amacıyla kullanılan benzetim yazılımları tanıtılmış ve yazılımların kullanımında etkin olan parametreler anlatılmıştır. Daha sonra WUFI 2D benzetim yazılımıyla, belirlenen duvar tipleri ile ilgili bir hesaplama çalışması yapılmış ve sonuçlar paylaşılmıştır. Hesaplamalar İstanbul ilinin iklim koşullarına göre yapılmış ve yönetmelikte izin verilen en yüksek ısı geçirgenlik değeri (0,60 W/m²K) dikkate alınmıştır. Kuzeybatı (KB) ve güneydoğu (GD) yönleri için benzetim yapılmıştır. Benzetimde kullanılan duvarlar için, gövde malzemesinin 19 cm kalınlığında pomza agregalı beton blok olduğu varsayılmıştır. Dış sıva mineral, iç sıva alçı olarak seçilmiş ve sıvanın ve yalıtımın etkisini belirlemek üzere kaplamalı-yalıtımsız ve kaplamasız-yalıtımsız iki kontrol duvarı oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller 5 sıra blok şeklindedir. Sonuçlar karşılaştırılarak; yapım suyunun kuruma süresi ve kuruma sırasındaki davranışı, kuruma sonrasında duvarda nem birikimi riski, farklı ısı yalıtım malzemelerinin davranışa etkisi ve yönlendirmenin etkisi yorumlanmıştır. Çalışmanın benzetim çalışmalarının kullanımıyla ilgili akış diyagramı oluşturma ve kaynak olma amacı açıklanmıştır (Edis & Kuş, 2014)

Bir başka çalışmada, Edirne’de bulunan kuzey yönüne bakan 1 m yüksekliğinde bir duvarın farklı malzemelerle inşa edilmesi durumundaki ısı ve nemsel performansı değerlendirilmiştir. Çalışmada, WUFI 2D ile hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Performansı değerlendirilen duvarlar için kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri yazılıma işlenmiştir. Önce, yalıtımsız bloklar için hesaplamalar yapılmıştır. Ardından; tuğla, bimsblok ve gazbeton için ayrı grafiklerde XPS, EPS ve mineral tün

malzemeleriyle dışarıdan yalıtım yapıldığı durumlardaki yıllık sıcaklık değişimi, nem değişimi ve su içeriği gösterilmiştir. Gazbeton ve bimsblok malzemeleri için yalıtımlı durumdaki bağıl nem, yalıtımsız duruma göre daha düşük sonuç vermiştir ve yalıtım malzemeleri arasında en iyi sonucu veren mineral yün olmuştur (Umaroğulları& diğerleri, 2014).

Bir diğer çalışma; belirlenen farklı tip duvarlar için, katmanların yerlerinin değiştirilmesiyle oluşturulan alternatiflerin nemsel ve ısı performanslarının deneysel ve sayısal yöntemlerle hesaplanmasını ve elde edilen sonuçların karşılaştırılmasını kapsamaktadır. Çalışmada WUFI 2D ile hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, Türkiye'nin 5 ayrı iklim bölgesi seçilmiştir ve bu iklim koşulları altındaki beş farklı betonarme duvar için iç yüzeyde, dış yüzeyde ve iç ve dış yüzeyin ortasındaki bölümde sıcaklık, bağıl nem ve su içeriği hesaplaması yapılmıştır. Çalışma için seçilen duvarlar; yalıtımsız duvar (YD), içeriden yalıtımlı duvar (İY), dışarıdan yalıtımlı duvar(DY), ortadan yalıtımlı duvar (OY), içeriden ve dışarıdan yalıtımlı duvar (İDY), içeriden ve ortadan yalıtımlı duvar (İOY), dışarıdan ve ortadan yalıtımlı duvar (DOY), içeriden dışarıdan ve ortadan yalıtımlı duvar (İDOY)'dır. Yalıtımın dışarda ya da dışı yakın bölgede düzenlendiği örneklerde kesit içinde sabit sıcaklıklar elde edilirken, yalıtımın içeride ya da içe yakın bölgede düzenlendiği durumlarda kesit içinde kış boyunca yüksek sıcaklık farkları gözlenmiştir. Yüzey sıcaklığı ve bağıl nem durumu açısından yalıtımın dışarda ya da dışı yakın bölgede düzenlendiği durumlar olumlu sonuç vermiştir. Su içeriği açısından en olumlu alternatifler ise DY, DOY, İDY, İDOY ve OY'dur. YD ve İY ise en olumsuz sonucu veren alternatifler olmuştur (Umaroğulları, 2014).

3.3.2 Hıgrotermal performansın test ve benzetim yöntemiyle belirlenmesi

İlk çalışmada, Kuzey Finlandiya'da geleneksel bir evde ahşapta küf oluşumu için analiz yapılmıştır. Analizler için WUFI 2D ile hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Ardından; Test sonuçlarını doğrulamak ve küf analizinde kullanmak üzere dış duvarlarda ısı ve nem analizi yapılmıştır. Analizi yapılan duvar katmanları içten dışa; alçı levha, yalıtım, membran, şilte, hava tabakası ve ahşaptır. Bina kabuğuna sensörler yerleştirilerek, izlenmiştir. Çalışma sonunda, sıcaklık ve bağıl nem ile ilgili test ve benzetim sonuçları arasındaki fark değerlendirilmiştir. Küf gelişim analizinde ise benzetim sonuçlarından faydalanılmıştır (Fedorik & Illikainen, 2013).

Bir diğerk çalışmada, ahşap iskeletli tipik bir Kanada evine göre tasarlanan, rüzgarla itilen yağmur suyuna maruz kalan farklı duvar tiplerinin nemsel performansının ölçümü; test ve simulasyon sonuçlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada WUFI 2D benzetim aracı kullanılmıştır. Test sonucunu kontrol etmek için dış duvarlarda WUFI 2D ile nemsel performans analizi yapılmıştır. Test aşamasında; önceden ıslatılmış, %55 su içeriğine sahip ahşap plaka üzerindeki ahşap kaplamalı duvarın su emme miktarının ölçümü yapılmıştır. Ahşabın su emmesi homojen olmadığı için benzetim çalışmasında iki farklı kesit modellenmiştir. Test için, su emdirilmiş ahşap plakalar üzerinde bulunan; camyünü ısı yalıtımlı; ahşap kaplamalı 6 farklı test duvarı kullanılmıştır. Duvar tipleri; buhar kesici varlığına göre ve su yalıtım membranının farklılığına göre tasarlanmıştır. Farklı duvar katmanlarında deneyimlenen sonucu görmek, ısı ve buhar transferini izlemek amacıyla benzetim aracı kullanıldıktan sonra test ve benzetim sonuçları karşılaştırılıp, uyumsuzluklar ve olası nedenleri sunulmuştur (Teasdale-St-Hilaire & Derome, 2007)

Bir başka çalışmada, Nordik iklim şartlarında bir bina elemanının sonbahar-ilkbahar periyodundaki higrotermal performansının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada benzetim için 1D-HAM, MATCH ve WUFI 2D yazılımları kullanılmıştır. Benzetim sonuçlarıyla, test sonuçlarının karşılaştırmasını yapmak için test duvarlarının üçü, bütün yazılımlarda ayrı ayrı modellenmiştir. Ahşap iskelete ve ahşap kaplamaya sahip, ısı yalıtım malzemesi ve buhar kesicisi farklı olan üç farklı duvar tipi modellenmiştir. Ayrıca farklı ısı yalıtım malzemesine ve buhar kesiciye sahip ahşap kaplamalı 16 farklı duvar kullanılmıştır. Benzetim çalışmaları için yapılan modellemelerde laboratuvar koşullarının sağlanamadığı durumlar özetlenmiştir (Kalamees & Vinha, 2003).

Bir diğerk çalışmada, az kalınlıkla yalıtım problemini çözen vakumlu yalıtım panelleri (VIP) ile; İsveç-Gothenburg batı sahil kesiminde 1930'da yapılmış bir evde yapılan iyileştirmenin sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışmada WUFI 2D benzetim aracı kullanılmıştır. Test sonuçları ile benzetim sonuçlarını karşılaştırmak amaçlandığından, test ile aynı koşullarda modelleme yapılmıştır. Isı yalıtım uygulaması yapılan duvarın katmanları dıştan içe doğru 22 mm ahşap kaplama, 28 mm hava boşluğu, 30 mm camyünü, 20 mm VIP, 0.2 mm polietilen folyo, strüktürel ahşap veya tuğla olarak belirlenmiştir. Test aşamasında, VIP ve camyünü ile dıştan yalıtımla iyileştirilmiş dış duvarlara ve yalıtım yapılmayan komşu duvara sensörler yerleştirilmiş ve 2,5-3 yıl boyunca performans izlenmiştir. Test ile benzetim

çalışması arasında farklılıklar olduğu tespit edilmiştir bu farklılıklar duvarda bulunan ve hava kaçağı oluşturan düşey boşlukla açıklanmıştır (Johansson, Hagentoft & Kalagasidis, 2014).

Bir başka çalışmada, on farklı higroskopik malzemenin nem tutuculuk potansiyeli ve buhar geçirimsizlik özellikleri, farklı nem koşullarındaki uzun dönem performansları benzetim ve test yöntemiyle incelenmiştir. Çalışmada WUFI Pro.5 Benzetim aracından yararlanılmıştır. Test sonuçlarını doğrulamak ve bina kabuğunda kullanılan bu on farklı malzemede gerçekleşen ısı, nem, hava transferini gözlemlemek amaçlanmıştır. Aralarında test duvarlarında kullanılan alçı plak ve ahşap panelin de bulunduğu on malzeme, özelliklerine göre üç gruba ayrılmış ve WUFI Pro.5 yazılımıyla modellenerek değerlendirilmiştir. İki farklı nem koşulluna sahip iki test odasında; iç yüzeyleribirisinin boyanmamış alçı plak ve diğerinin ahşap panel olan, dış yüzeyleri ise polietilen tabaka ile kaplanmış iki farklı duvarın performansı test edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Benzetimlerden elde edilen sonuçların test sonuçlarını doğrulamakta olduğu belirtilmiştir (Ge, Yang, Fazio, & Rao, 2014)

Bir başka çalışmada, Portekiz'deki tarihi binalarda zeminle direk temas eden duvarlardan yukarıya doğru kılcalık yoluyla yükselen su ile taşınan çözünbilir tuzların tarihi yapılarda hasara neden olmasına değinilmiştir. Çözüm olarak temele kadar devam eden bu duvarların temelden havalandırılması önerilmiş ve bu durum araştırılmıştır. Çalışmada WUFI 2D benzetim yazılımı kullanılmıştır. Araştırma sonunda, test sonuçlarıyla benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır. Benzetim çalışmasında modellenecek duvar alternatifleri için, Portekiz'de geleneksel olarak kullanan duvar malzemeleri olan iki çeşit granit ve iki çeşit kumtaşı seçilmiştir. Önce; 20-40-60-80-100 cm kalınlığında 1,5 metre boyunda doğal taş duvarların aynı iklim koşullarında temelden havalandırılmamış ve havalandırılmış durumdaki 2 yıllık benzetim sonuçları alınmıştır. İkinci durumda; 1,5 metre yüksekliğindeki duvarın kalınlığı 60 cm'de sabit olarak tutulmuş ve malzemeler değiştirilerek 2 yıllık benzetim sonuçları alınmıştır. Deneysel çalışma kapsamında, laboratuvarında düzenek hazırlanıp ölçüm yapılmıştır. Çalışmanın sonunda, duvar kalınlığının artmasıyla su içeriğinin ve kılcalık yoluyla yükselen su miktarının arttığı görülmüştür. Ayrıca, kalınlık arttıkça havalandırma yoluyla iyileştirme yönteminin etkinliğinin azaldığı da ortaya çıkmıştır. Daha sonra, aynı kalınlıkta farklı malzemeden oluşan duvarların su içeriği karşılaştırılmıştır. Bütün alternatiflerde havalandırma yönteminin iyileştirme sağladığı görülmüştür (Torres & de Freitas, 2010).

Bir başka çalışmada, bir önceki çalışmada anlatılan, Portekiz’de yapılan laboratuvar ortamındaki deney daha ayrıntılı açıklanmış ve duvar için geliştirilen havalandırma metoduyla ilgili farklı konfigürasyonlardan bahsedilmiştir. Çalışmada WUFI 2D benzetim aracı kullanılmıştır. Test sonuçlarıyla benzetim sonuçları arasındaki farklılıkları belirlemek amaçlanmıştır. Yapılan deney, aynı koşullarla bilgisayar ortamına aktarılmıştır. 1 yıllık benzetim sonunda duvarın farklı yüksekliklerindeki su içerikleri incelenmiş ve test sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Temelden havalandırılan duvarın farklı yükseklik ve derinliklerine yerleştirilen sensörlerden elde edilen veriler ele alınmıştır. Duvarın alt bölümlerinin benzetim hesaplaması ile test sonuçları arasında ciddi bir fark görülmezken, duvar yüksekliği arttıkça sonuçlar arasındaki farklılıkların da arttığı görülmüştür. Benzetim sonuçlarında gözlemlenen yüksekliğe bağlı değişim, deney sonuçlarına göre daha yavaştır. Buradan çıkarılan sonuç, sorunun üst üste gelen farklı katmanların ara yüzünde yattığı olmuştur (Torres & de Freitas, 2007).

Bir diğer çalışmada, fabrikada üretilen hava kanallı mineral yün ısı yalıtımı malzemesinin ısı- nemsel performansı bilgisayar ortamında hesaplanmıştır. WUFI 2D benzetim aracı ile yapılan hesaplarda Rusya-Novosibirsk kentinin iklim verileri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan diğer benzetim aracı THERM 5’tir. THERM 5 ile termofiziksel analiz yapılmıştır. Daha sonra duvarlardaki nem durumunu hesaplamak için WUFI 2D yazılımında iki farklı duvar modellenmiştir. İlkinde, 2400 mm tuğla duvara sahip yeni inşa edilmiş bir binanın dışardan 160mm havalandırma kanallı panelle yalıtıldığı durum modellenmiştir. İkincisinde, 640 mm tuğla duvara sahip yenilenen bir binanın dışardan 140mm havalandırma kanallı panelle yalıtıldığı durum modellenmiştir. Batı yönü için 1 Ağustosta başlayan üç yıllık bir hesaplama yapılmıştır. Havalandırma kanallı panellerle yalıtılmış iki binanın cepheleri termal kamera ile gözlemlenmiştir. Sonuç bölümünde, yalıtım malzemesinin performansı değerlendirilmiştir (Nizovtsev, Belyi, & Sterlygov, 2014).

Bir başka çalışmada; Portekiz-Lizbon kentinde, mevcut yapıların cephelerinde yapılacak güçlendirmeler için enerji harcamalarını optimize ettiği ve ekonomik olduğu öne sürülen yeni bir sistem olan prefabrike güçlendirme modülleri analiz edilmektedir. Çalışmada THERM ile WUFI 2D benzetim araçları kullanılmıştır. Modülün ısı performansını ölçmek, ısı köprüsü problemlerini tespit etmek için THERM adlı yazılımdan yararlanılmıştır. Portekiz/Lizbon kentinin iklim verileri kullanılarak ısı- nem performanslarını hesaplamak üzere ise WUFI kullanılmıştır.

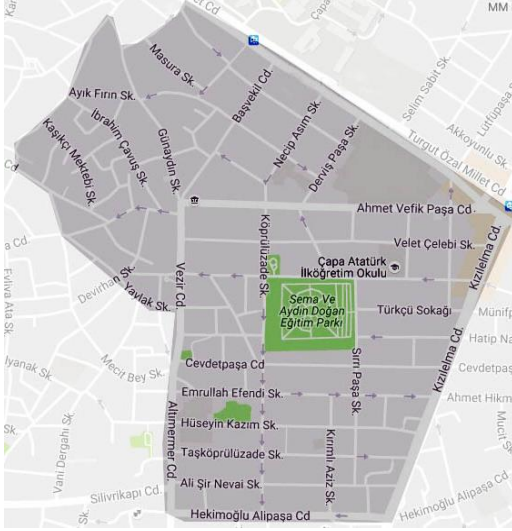
Çalışmada modellenen 1m uzunluğunda ve 1m genişliğinde 17.8cm kalınlığındaki panelin katmanları dıştan içe doğru; alüminyum kompozit (6mm), siyah mantar ses yalıtımı (20mm), buhar kesici, U çelik profil (1.5mm), XPS ısı yalıtımı (120mm), siyah mantar ses yalıtımı (20mm) ve alüminyum kompozit (6mm) olarak sıralanmaktadır. Çalışmanın test aşamasında, Portekiz’de seçilen 3 farklı bina kullanılmıştır. WUFI ile yapılan hesaplamada, mantar katmanının dışta ve XPS yalıtımın içte olduğu durum ile XPS’in iki mantar katmanının ortasında olduğu durum için benzetim çalışmaları yapıp, sonuçlar sıcaklık ve nem için ayrı ayrı kesit üzerinde gösterilmiştir. Sonuçta ısı köprüleri, nem performansı ve test sonuçları ayrı ayrı tartışılıp malzeme tanıtılmıştır (Silva, Almeida, Bragança, & Mesquita, 2013).



4. İSTANBUL ÇAPA SEMTİNDEKİ MEVCUT BİNALARIN DIŞ DUVARLARINDA DIŞTAN ISI YALITIMI UYGULAMALARI – ALAN ÇALIŞMASI

Çalışma alanı olarak, dıştan ısı yalıtım uygulamalarının yaygın olması ve çok sayıda bitişik nizam geçirimsiz dış duvar kaplamasına sahip binanın bulunması nedeniyle Çapa bölgesi tercih edilmiştir. İstanbul'un birçok farklı bölgesinde yaygın olan bu mimarinin, İstanbul'a doğru gerçekleşen yoğun göçlerle birlikte artan yapılaşma faaliyetleri kapsamında inşa edildiği bilinmektedir. Son zamanlarda, enerji tasarrufu ihtiyacı nedeniyle ülke genelinde yaygınlaşan dıştan ısı yalıtım uygulamalarının bu binalarda da yaygın olarak yapıldığı görülmektedir. İstanbul'da özellikle sokak aralarında, mevcut duvar yüzeyleri seramik, cam mozaik ve mermerle kaplanmış olan mevcut binalara dıştan ısı yalıtımı uygulamaları yapılmaktadır. Çapa bölgesinde son zamanlarda iyice yaygınlaşan bu ısı yalıtım uygulamaları çok hızlı gerçekleşmektedir ve bu alanda aynı anda çok sayıda farklı binanın ısı yalıtımı uygulamasını gözlemlene olanağı bulunmaktadır. Geçirimsiz kaplamalar üzerine yapılan bu uygulamaların, dış duvarların higrotermal performansını uzun dönemde nasıl etkileyeceğinin ve kullanılan malzemelerin uzun ömürlü olup olmayacağının araştırılması gerektiği düşünülmüştür. Bu nedenle, alan çalışması kapsamında Çapa bölgesindeki mevcut binalarla ve ısı yalıtım uygulamalarıyla ilgili tespitler yapılmıştır.

Şekil 4.1'de alan çalışması kapsamında gözlemlenen bölgenin haritaları görülmektedir. Çalışma kapsamında alan; Millet Caddesi, Kızılelma Caddesi, Hekimoğlu Alipaşa Caddesi ve Altınmermer Caddesi çerçevesinde sınırlandırılmıştır. Çalışma sırasında bu bölgede ısı yalıtım uygulaması yapılmakta olan binalar araştırılmış ve incelenmiştir. Kızıl Elma Caddesi, Cevdet Paşa Caddesi, Hüseyin Kazım Sokak, Taşköprülüzade Sokak, Ali Şir Nevai Sokak, Masura Sokak, Günaydın Sokak, İbrahim Çavuş Sokak ve Başvekil Caddesi incelenen binaların bulunduğu cadde ve sokaklardır.



a.



b.

Şekil 4.1 Çapa’da alan çalışması yapılan bölge

Gözlemlenen alanda yaygın olan bina tipolojisini, bitişik nizamda inşa edilmiş üç katlı, dört katlı ve beş katlı apartmanlar oluşturmaktadır. Şekil 4.2.a’da araştırma yapılan alandaki binaların sokak üzerinde bitişik nizam olarak inşa edilme düzeni görülmektedir. Şekil 4.2.b’de ise Kızılcama Caddesi üzerindeki binaların yerleşim düzeni bulunmaktadır. Cadde üzerinde bulunan binalar arasında kaldırım ve yol ile birlikte yaklaşık 9 metre mesafe varken, Şekil 4.2.a’daki gibi sokak üstünde bulunan binaların arasındaki mesafe 6 metreye kadar düşebilmektedir. Bu durumda, sokak üzerinde karşılıklı bulunan binaların birbirlerinin üzerine gölgelerinin düşmesiyle alt katların güneş ışığından yeterince faydalanamaması durumu ortaya çıkmaktadır.



a.



b.

Şekil 4.2 İstanbul Çapa bölgesinde gözlemlenen binaların yerleşim düzeni

Şekil 4.3.a'da Kızılcılma caddesi üzerinde bulunan bir binanın ön cephesi görülmektedir. Bu binanın cephe saydamlık oranı %40-%50 civarındadır ve alanda yaygın olan bir cephe tipolojisini yansıtmaktadır. Genel bir değerlendirme yapmak gerekirse, alandaki binaların cephe saydamlık oranları %20-%50 aralığında değişmektedir. Şekil 4.3.b'de ise alanda yaygın olarak gözlemlenen cephe kaplama örnekleri bulunmaktadır. Binaların zemin katlarının dış duvarlarında mermer ya da seramik ve üst katlarının dış duvarlarında cam mozaik kaplama kullanıldığı görülmektedir.



a.



b.

Şekil 4.3 İstanbul Çapa bölgesinde gözlemlenen binaların tipolojisi

Alan çalışmasında İstanbul-Çapa bölgesinde gözlemlenen mevcut duvarlardaki dıştan ısı yalıtım uygulamalarıyla ilgili tespitler; duvarların mevcut dış kaplamalarının tespiti, uygulamalarda kullanılan ısı yalıtımı ve kaplama malzemelerinin tespiti ve uygulamaya yönelik tespitler olarak üç bölümde ele alınmıştır. Gözlemlenen uygulama örnekleri, benzetim çalışmasında higrotermal performans hesaplaması yaparken kullanılmak üzere sınıflandırılmıştır.

4.1 Binaların Dış Duvarlarındaki Mevcut Dış Kaplamaların Tespiti

Bu bölümde, Çapa bölgesinde gözlemlenen dıştan ısı yalıtımı uygulamalarının yapıldığı mevcut dış duvar yüzeylerinden bahsedilmiştir. Bu bölgede, benzetim çalışmasında higrotermal performans açısından incelemek üzere ısı yalıtım uygulaması yapıldığı görülen dört farklı yüzey tespit edilmiştir.

Şekil 4.4.a'daki ve Şekil 4.4.b'deki resimlerde henüz ısı yalıtımı uygulaması yapılmamış binalara ait dış duvar yüzeylerinin mevcut kaplama malzemeleri

görülmektedir. Şekil 4.4.a'da mevcut bir binaya ait dış duvar yüzeyinde sıva kaplaması olduğu görülmektedir. Şekil 4.4.b'de ise mevcut duvar yüzeyinin mermerle kaplı olduğu görülmektedir.



a.



b.

Şekil 4.4 Sıva ve mermer mevcut duvar kaplamaları

4.5.a'da mevcut bir binaya ait dış duvar yüzeyinde cam mozaik duvar kaplaması olduğu ve Şekil 4.5.b'deki mevcut duvar yüzeyinin seramik ile kaplanmış olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, araştırılan alanda yaygın olarak gözlemlenen mevcut duvar kaplamaları sıva, cam mozaik, mermer ve seramiktir.



c.



d.

Şekil 4.5 Cam mozaik ve seramik mevcut duvar kaplamaları

4.2 Uygulamalarda Kullanılan Isı Yalıtımı ve Kaplama Malzemelerinin Tespiti

Bu bölümde, Çapa bölgesinde dıştan ısı yalıtımı uygulaması sırasında gözlemlenen mevcut binalarda kullanılan ısı yalıtımı ve kaplama malzemelerinden bahsedilmiştir.

Alanda iki farklı ısı yalıtım malzemesinin yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür. Bu ısı yalıtım malzemeleri EPS ve XPS yalıtım levhalarıdır.

Şekil 4.6.a'daki resimde mevcut bir binada yapılan dıştan ısı yalıtımı uygulamasında ısı yalıtım malzemesi olarak, EPS levhaların kullanıldığı görülmektedir. Şekil 4.6.b'deki resimde görülen dıştan ısı yalıtım uygulamasında ise ısı yalıtım malzemesi olarak pencere kenarlarındaki duvar bölümünde XPS yalıtım levhası kullanılmıştır. Alanda ağırlıklı olarak EPS levhalar kullanılmakta olup, XPS levhalar daha çok pencere kenarlarını çevreleyen duvarlara uygulanmaktadır.



a.



b.

Şekil 4.6 Alandaki binalara uygulanan EPS ve XPS ısı yalıtım malzemesi

Alandaki binalarda dıştan ısı yalıtımının üzerine iki farklı kaplama uygulaması yapıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, birçok binada aynı anda binanın farklı dış yüzeylerinde farklı malzemelerle kaplama uygulaması yapıldığı görülmüştür.

Şekil 4.7.a'daki resimde ısı yalıtım kaplaması üzerine sıva ve boya uygulaması yapıldığı görülmektedir. Şekil 4.7.b'deki resimde ise aynı binanın köşelerinde ve pencere çevresinde söve uygulaması yapıldığı görülmektedir.



a.



b.

Şekil 4.7 Dıştan ısı yalıtımı üzerine sıva ve boya uygulaması

Şekil 4.8.a'daki resimde ısı yalıtımı uygulaması yapılmış olan bir binanın zemin katında dış duvarlardaki ısı yalıtımının üzerine seramik kaplama yapıldığı görülmektedir. Şekil 4.8.b'deki resimde bulunan ve ısı yalıtımı uygulaması yapılmış olan binanın zemin kat dış duvarlarında ise ısı yalıtımının üzerinde doğal taş görünümlü seramik kaplama bulunmaktadır.



a.



b.

Şekil 4.8 Dıştan ısı yalıtımı üzerine seramik kaplama uygulaması

Alanda incelenen birçok binada farklı kaplama malzemelerinin bir arada kullanılmasıyla cephede desen oluşturulduğu gözlenmiştir. Bu uygulama yapılırken binaların belli bölümlerinde ahşap ya da doğal taş görünümlü prekast yalıtım levhaları, pencere çevrelerinde ve bina köşelerinde söveler kullanılmıştır. Şekil 4.9.a'daki resimde bir kısmında dıştan ısı yalıtımı üzerine sıva uygulaması ve bir kısmında prekast ısı yalıtımı levhası uygulaması yapılan binalar görülmektedir. Şekil 4.9.b'deki resimdeki binada ise zemin kat cephesinin bir bölümünde doğal taş

görünümlü seramik kaplama, binanın bir bölümünde sıva kaplama ve geri kalan kısımlarda prekast ısı yalıtım levhası uygulaması yapıldığı görülmektedir. Pencere çevrelerinde ve prekast ısı yalıtım levhalarının sıva kaplamalarıyla birleştiği bölümlerde söve uygulaması yapıldığı görülmektedir.



a.



b.

Şekil 4.9 Prekast yalıtım levhası ve ısı yalıtımı üzerine sıva kaplama uygulaması

4.3 Uygulamaya yönelik tespitler

İstanbul Çapa bölgesinde yapılan alan çalışmasında gözlemlenen ısı yalıtım uygulamalarında, ısı yalıtım malzemeleriyle ilgili standartlarda ve uygulama mevzuatlarında belirtilen esaslara uyulmadığı bazı durumlar tespit edilmiştir. Bu bölümde alandaki dıştan ısı yalıtımı uygulamalarında yapılan hatalarla ilgili tespitler anlatılmıştır.

TS 825'te mevcut binalarda yapılacak olan tamir ve eklemelerde, standartta tavsiye edilen değer olarak verilen ısıl geçirgenlik katsayı değerleri (U) sınır değer olarak kabul edilmiştir. Ayrıca mevcut binalarda yapılan yalıtım uygulaması ile ilgili malzeme seçimi, eleman boyutlandırılması ve ayrıntılı çözümlerini içeren bir ısı yalıtım raporu hazırlanması gerektiği belirtilmiştir.

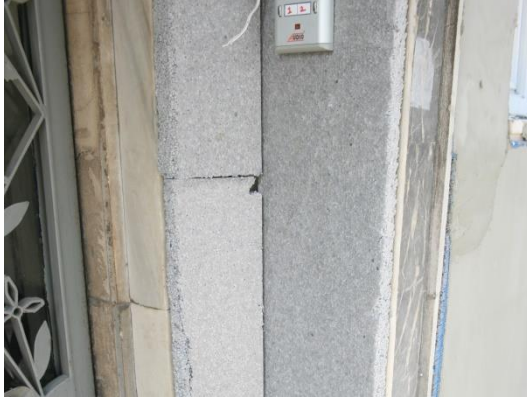
Alanda gözlemlenen uygulamaları gerçekleştiren firmalardan biriyle yapılan görüşmede, standartta belirtilen ısı yalıtım raporu gerekliliklerine uyulmadığı anlaşılmıştır. Görüşülen firmanın malzeme seçimi ve boyutlandırmayı rastgele yaptığı, ısıl geçirgenlik katsayı değerlerinin hesaplanmasıyla ilgili bir yeterliliğinin bulunmadığı tespit edilmiştir. Alan araştırmasının bir bölümü, firma yetkilisinin rehberliğinde yapılmış ve kendisinden uygulamalar hakkında bilgi alınmıştır. Görüşülen firma yetkilisi uygulama yapılan yüzeylerden mevcut cam mozaik

kaplamasının sökülmesinin çok işçilik gerektirdiğini, bu nedenle uygulamanın cam mozaik kaplama üzerine yapıldığını söylemiştir. Ayrıca, bazı durumlarda binaların zemin katlarının duvar yüzeylerinde bulunan mevcut seramik ya da mermer kaplamanın söküldüğünü ve ısı yalıtım uygulamasının ardından binanın görselliğini sağlamak için tekrar seramik kaplama yapıldığını belirtmiştir. Firma yetkilisiyle yapılan görüşmede ve alanda gözlemlenen uygulamalarda malzeme seçimlerinin rastgele yapılması nedeniyle, higrotermal performans üzerine düşünülmediği ve yoğunlaşma olasılığına karşı herhangi bir önlem alınmadığı da dikkat çekmiştir.

Ayrıca dıştan ısı yalıtımlı ve sıvalı kompozit sistemlerle (ETICS) ilgili standartlarda, sistemi oluşturan her bir katmanın birbirleriyle ilişkisine göre ve uygulama yapılan koşullardaki duruma özel olarak tasarlanması gerektiği belirtilmektedir. Alan çalışmasında gözlemlenen ısı yalıtım uygulamalarında ise malzeme seçimini sadece dekoratif özelliklerin belirlediği ve düşük kalitede malzemelerin tercih edildiği görülmüştür.

Bu bölümde, alan çalışmasında gözlemlenen mevcut binaların dış duvarlarındaki dıştan ısı yalıtım uygulamalarında tespit edilen olumsuz durumlar anlatılmaktadır.

Şekil 4.10.a'daki resimde mevcut durumda mermer kaplaması olan bir dış duvar yüzeyine ısı yalıtımı uygulaması yapıldığı görülmektedir. Uygulanan ısı yalıtım levhalarının derz boşlukları ve sol alttaki levhanın köşesindeki hasar dikkat çekmektedir. Şekil 4.10.b'deki resimde ise aynı uygulamanın detayı bulunmaktadır. Mermer üzerine uygulandığı görülen 4 cm kalınlığındaki, düşük yoğunluklu EPS levhanın farklı yönlerde bakan, ısı kaybeden yüzey oranları farklı olan çok sayıda binanın dış duvarlarına uygulandığı görülmüştür. Binalara uygulanan yalıtım kalınlığının belirlenmesinde TS 825'te belirtilen bina elemanlarının farklılığının etkisi, dış duvarı oluşturan malzemelerin ısıl geçirgenlik direnci, yönlenme, güneş enerjisi kazancı, iklim, dış duvar alanı, saydamlık oranları gibi ölçütlerin düşünülmediği görülmektedir.



a.



b.

Şekil 4.10 Mermer üzerine ısı yalıtımı uygulaması

Şekil 4.11.a'da görülen resimde, mevcut dış duvar yüzeyi sıva kaplama olan bir binada yapılan dıştan ısı yalıtım uygulaması görülmektedir. EPS ısı yalıtım levhalarının yapıştırılmasında kullanılan harç, temizlenmemiş duvar yüzeyine gelişigüzel uygulanmaktadır. Şekil 4.11.b'deki resimde mevcut dış duvar yüzeyi seramikle kaplanmış olan binada, seramikler sökülmeden dıştan ısı yalıtımı uygulaması yapıldığı görülmektedir.



a.



b.

Şekil 4.11 Sıva ve seramik yüzeyler üzerine ısı yalıtımı uygulaması

Şekil 4.12.a'daki resimde mevcut dış duvar yüzeyi cam mozaik olan bir binada dıştan ısı yalıtımı uygulaması yapıldığı görülmektedir. Şekil 4.12.b'deki resimde ise aynı uygulamaya ait bir detay bulunmaktadır. Isı yalıtımı uygulamasının yapıldığı yüzeyde bozukluklar ve malzeme kaybı hasarları olduğu görülmektedir. Bu durumun, hava ve nem kaçaklarına neden olarak ısı yalıtım levhasının higrotermal performansını olumsuz yönde etkileme riski bulunmaktadır.



a.



b.

Şekil 4.12 Cam mozaik üzerine ısı yalıtımı uygulaması

Şekil 4.13.a'daki resimde, dıştan ısı yalıtımı uygulaması devam etmekte olan bir binada, yakın bir zamanda uygulaması yapılmış olan pencere üstündeki sövenin sehim yaptığı ve çatladığı dikkat çekmektedir. Bu durum, Avrupa Yapı Malzemeleri Direktifi (CPD)'nin temel gereksinim olarak belirlediği durabilite ve işe yararlık ölçütünü sağlamamaktadır. Şekil 4.13.b'deki resimde ise dıştan ısı yalıtım uygulamasında köşesi hasar görmüş bir yalıtım malzemesinin kullanıldığı ve bu yüzden pencere köşesinde bir boşluk oluştuğu görülmektedir. Isı yalıtım malzemesindeki şekilsel bozuklukların ısı köprüsüne ve nem geçişine neden olması nedeniyle, böyle durumlarda higrotermal performansın olumsuz etkilenmesi beklenmektedir.



a.



b.

Şekil 4.13 Dıştan ısı yalıtım uygulamalarındaki malzemelerdeki hasarları

Şekil 4.14.a'daki resimde görülen dıştan ısı yalıtım uygulamasında ısı yalıtım levhalarının duvara sabitlenmesinde kullanılan dübel sayısı bazı levhalarda bire kadar düşmektedir. Ayrıca kullanılan ısı yalıtım levhalarının çok küçük parçalara

ayrılmış olması nedeniyle, ısı yalıtım uygulamasındaki derz sayısı çok artmıştır. Şekil 4.14.b'deki resimde, levhalar arasındaki geniş derz boşlukları ile kullanılan dübellerin az sayıda ve düzensiz olması daha detaylı bir şekilde görülmektedir. Bu durumda, ısı köprüleri oluşacak ve ısı yalıtımından gerekli verim alınamaması durumu ortaya çıkacaktır. Ayrıca levhalar arasındaki geniş derzlerin rüzgarla itilen yağmur suyunun etkisiyle istenmeyen hava ve su sızıntılarına neden olması söz konusudur.



a.



b.

Şekil 4.14 Dıştan ısı yalıtımı uygulama hataları (Kuş, 2015)

Şekil 4.15.a'daki ve Şekil 4.15.b'deki resimlerde, üst katlarında dıştan ısı yalıtımı uygulaması yapılmış olan binaların zemin katlarındaki mevcut duvar yüzeylerinin (cam mozaik ve mermer) üzerine uygulama yapılmadığı görülmektedir. Alan çalışmasında çok sayıda bu şekilde yapılmış uygulamayla karşılaşmıştır.



a.



b.

Şekil 4.15 Zemin katlarda ısı yalıtımı uygulamasının yapılmadığı durumlar

Bir sonraki bölümde, alan çalışmasında incelenen mevcut bina ve ısı yalıtımı uygulama örneklerinden yola çıkılarak modellenen duvar kesiti alternatiflerinin higrotermal performansının benzetim yöntemiyle değerlendirilmesi anlatılmaktadır. Alan çalışması, gerçek bir durum üzerinden değerlendirme yapmak ve benzetim araçlarının gerçek durumları modellemedeki etkinliğini anlamak amacıyla yapıldığından sınırlandırılmıştır. Bu yöntemlerle yapılan ısı yalıtımı uygulamalarıyla ilgili tüm sorunları tespit edebilmek Çapa'da ve benzeri uygulamaların gözlemlendiği bölgelerde daha ayrıntılı alan çalışmaları yapılması gerekliliği bulunmaktadır.



5. BENZETİM ÇALIŞMASI

Çalışmanın üçüncü bölümünde anlatılan ve higrotermal performansın değerlendirilmesinde kullanılan benzetim araçları, bina kabuğunun ısı performansını iyileştirmek için yapılan ısı yalıtım uygulamalarının higrotermal performans üzerindeki etkilerini hesaplamak amacıyla da kullanılmaktadır. Yerinde ya da laboratuvar ortamında yapılan testlerle doğruluğu değerlendirilen benzetim araçları sürekli olarak güncellenmekte, eksikleri giderilmekte ve kapsamı genişletilmektedir.

Bu bölümde; alan çalışmasında gözlemlenen duvar tiplerinden yola çıkılarak, mevcut binaların dış duvarlarında yapılan dıştan ısı yalıtımı uygulamalarının higrotermal performans üzerindeki etkileri benzetim yöntemiyle hesaplanmaktadır. Yapılan hesaplamalarla, ısı yalıtımı uygulaması öncesi ve sonrası durumlar değerlendirilmektedir. Çalışmada lisanslı ve ücretli bir yazılım olan WUFI 2D benzetim aracının 2015'te güncellenen 3.3 sürümü kullanılmaktadır.

5.1 Hesaplama Hassasiyetinin Belirlenmesi

Benzetim çalışmasına başlamadan önce, programın etkin ve doğru kullanımını sağlamak amacıyla farklı duvar tipleriyle denemeler yapılmıştır. Öncelikle benzetim aracının kütüphanesinden seçilen gaz beton, dolu tuğla ve delikli tuğla malzemeleri ile kaplamasız ve harçsız, tek katmandan oluşan duvar kesitleri modellenmiştir. Ayrıca, TS 825 standardındaki veriler kullanılarak oluşturulan tuğla malzeme ile yine harçsız ve tek katmandan oluşan bir duvar kesiti oluşturulmuştur. Bu dört farklı duvar malzemesinden oluşan duvar kesitlerinin kaplamasız durumdaki higrotermal performansı benzetimle değerlendirilmiştir.

İkinci adımda, duvar kesitlerini oluşturan katmanlar; sıva, cam mozaik, ısı yalıtım malzemesi ve ısı yalıtım malzemesi üzeri sıva kaplama olmak üzere birer birer artırılarak çeşitlendirilmiş ve toplam yirmi farklı duvar kesiti elde edilmiştir. Tüm bu alternatiflerin higrotermal performansı benzetim aracında hesaplanmıştır.

Üçüncü adımda, tuğla ve gaz beton ile oluşturulan ısı yalıtımlı duvar kesitlerine; bloklar arasındaki harç tabakaları, ısı yalıtımı ve cam mozaik katmanlarının yapıştırıcıları da eklenerek yeni duvar kesitleri oluşturulmuştur. Bu yeni kesitler için de hesaplama yapılmıştır.

Dördüncü adımda, oluşturulan yirmi iki adet kesit için farklı ağ sayılarıyla hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ağ sayıları her adımda bir kat daha arttırılmış ve sonuçlar üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Ağ sayısı arttırılırken, iterasyon sayısı da arttığı için benzetim süresinin uzadığı görülmüştür. Ayrıca, harç ve yapıştırıcı katmanlarının kesitlere eklenmesi de benzetim süresini çok uzatmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında, kesitlerdeki katmanlaşma ayrıntısının ve ağ sayısının arttırılmasının belli bir noktadan sonra sonucu önemli bir ölçüde etkilemediği ancak hesaplama süresini uzattığı ve bilgisayarın performansını düşürdüğü görülmüştür. Bu denemelerle, çalışmada kullanılacak optimum ayrıntıdaki duvar kesitleri ve ağ sayısı ile ilgili kabuller belirlenmiştir. Ağ sayısının belirlenmesi ve diğer hassasiyet ölçütleri alt bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

5.1.1 Ağ sayısının belirlenmesi

WUFI 2D aracında yapılan hesaplamalarda kullanılan ağ sayısı, çalışmanın hassasiyetini etkilemektedir. Bu nedenle, hesaplama hassasiyetinin belirlenmesi bölümünde anlatıldığı gibi oluşturulan kesitlerin higrotermal performansının hesaplanmasında kullanılacak uygun ağ sayısını belirlemek amacıyla bir ön çalışma yapılmıştır. Ön çalışmada, farklı malzemelerle oluşturulan duvar kesitleri farklı ağ sayılarıyla hesaplanmıştır. Bu bölümde, tuğla ve gaz beton duvar kesitlerinin sıvasız, sıvalı ve yalıtımlı-sıvalı alternatiflerinin modellenmesi ve farklı ağ sayılarıyla hesaplama yapılması ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

Öncelikle, benzetim aracının kütüphanesinden seçilen gazbetonla modellenen sıvasız duvar için ağ sayısı girilmeden sadece X ve Y koordinatları için ağ sayısı hassasiyeti "coarse", "medium" ve "fine" olarak değiştirilerek ayrı ayrı bir yıllık süreç için hesaplama yapılmıştır. Üç farklı hassasiyet ayarından elde edilen hesaplama sonuçları arasında bir fark görülmemiştir.

İkinci aşamada; benzetim aracına ağ sayısı bir değer olarak girilmiştir. Ağ sayısı değeri belirlenirken; WUFI 2D ile bir duvar kesiti üzerinden hesaplama yapma aşamalarını anlatan, benzetim aracını geliştirenler tarafından hazırlanmış bir

dökümandan yararlanılmıştır (Zirkelbach ve diğ.). Bu dökümanda kullanılan ağ sayıları X:90 ve Y:60'dır. Ön çalışmada, bu ağ sayısı ve katları kullanılarak oluşturulan farklı ağ sayılarıyla bir çok hesaplama yapılmıştır. Hesaplamalarda; X:45, Y:30; X:90, Y:60; X:120, Y:90; X:180, Y:120 ağ sayıları kullanılmıştır.

Örneğin; sıvasız gazbeton duvar için ağ sayısı X:90 ve Y:60 olarak girilip, gridlerin hassasiyeti "coarse" olarak ayarlandığında yapılan bir yıl süreli hesaplama sonucunda ağ sayısı girilmeyen duruma göre daha yüksek su içeriği ve bağıl nem sonuçları elde edilmiştir. Hesaplama süresi de daha uzun sürmüştür. Ağ sayısını değiştirmeden hassasiyet "medium" olarak ayarlandığında bir saat süren bir hesaplama sonunda elde edilen sonuçlar bir miktar düşmüştür ve ağ sayısı girilmeyen durumla benzer sonuçlar elde edilmiştir. Hassasiyet "fine" yapıldığında sonuçlar "medium" ayarına göre bir miktar daha düşmüş ve grafik çizgileri daha net olmuştur. Ancak hesaplama süresi üç saate çıkmıştır. Sonuç olarak ağ sayısına önerilen değer girildiğinde, "coarse" durumunda en yüksek, "fine" durumunda en düşük ve net sonuçlar elde edilmiştir.

Ağ sayısı X:120 ve Y:90 olarak girildiğinde; "coarse" durumunda en yüksek, "fine" durumunda en düşük su içeriği ve bağıl nem sonuçları elde edilmiştir. Ağ sayısının X:90, Y:60 ve hassasiyetin "fine" olduğu durumla; ağ sayısının X:120, Y:90 ve hassasiyetin "fine" olduğu durumdan çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. X:90, Y:60 "fine" ayarında hesaplama yaklaşık üç saat sürerken; X:120, Y:90 "fine" durumunda hesaplama yaklaşık altı saat sürmüştür. Ağ sayısının X:180, Y:120 "fine" olduğu durumda hesaplama süresi çok daha uzun sürerken, hesaplama sonuçları tekrar yükselmiş ve grafiklerdeki çizgiler netliğini kaybetmiştir. Ayrıca, ağ sayısı değerinin çok yükselmesi kesit üzerindeki çizgilerin çok fazla sıklaşmasına neden olmakta ve hesaplama sonunda kontrol edilmek istenen alanların seçimini zorlaştırmaktadır.

Aynı hesaplamalar benzetim aracının kütüphanesinden seçilen dolu tuğla ile modellenen sıvasız duvar ile yapılmıştır. Ağ sayısına göre sonuçların farklılıkları da gazbetondakine benzer olmuştur.

Ağ sayılarının sıvalı ve yalıtımlı alternatiflerde denenmesinden de benzer sonuçlar elde edilmesiyle, benzetim çalışmasında modellenecek duvar kesiti alternatiflerinde X:90, Y:60 ağ sayısı ile "fine" hassasiyet ayarının kullanılmasına karar verilmiştir. Böylece istenilen hassasiyette, daha kısa bir sürede optimum sonuç elde edilmesi amaçlanmıştır.

Diğer yandan; her ayrı çalışma için, çalışmanın özelliklerine ve amacına bağlı olarak uygun ağ sayısının belirlenmesi doğru bir yaklaşımdır. Farklı ağ sayıları, farklı malzeme veya ölçeklerde yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçları etkilemektedir.

5.1.2 Kesitlerin katmanlaşması ve duvar malzemesinin seçimi

Çalışma hassasiyetini belirlemek için yapılan ön çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, dolu tuğla duvarın su içeriği ve bağıl nem değerleri gazbetona göre çok daha yüksek çıkmıştır. Bu durumun nedeni; gazbetonun daha az yoğunluklu olması, çok gözenekli olması ve gözenek yapısının tuğladan farklı olması nedeniyle yağmur suyu aldıktan sonra daha çabuk kurumasıdır. Gazbetona göre daha yoğun ve az gözenekli yapıda olan dolu tuğla duvar ise yağmur suyu aldıktan sonra geç kuruyup, kurumadan tekrar yağmur suyu alınca daha fazla ıslanmaktadır.

Bu denemelerden sonra, benzetim aracında delikli tuğla modellenerek hesaplama başlatılmıştır ve hesaplama sonuçları dolu tuğla sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Delikli tuğlanın dış ve iç yüzey arasında oluşan su içeriği ve bağıl nem miktarındaki farkın dolu tuğlaya göre çok daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durumun nedeni delikli tuğlada bulunan hava katmanlarıdır. Alan çalışmasında gözlemlenen binaların gövde malzemesini oluşturan delikli tuğlalardan yola çıkılarak, gerçeğe yakın sonuçlar elde edebilmek amacıyla hesaplamalara delikli tuğla ile devam edilmiştir.

5.1.3 Başlangıç, iklim ve iç ortam koşullarının belirlenmesi

WUFI 2D benzetim aracının Başlangıç Koşulları (Initial Conditions) sekmesinde, dış duvar kesitlerini oluşturan malzemelerin başlangıç koşulları tanımlanmaktadır. Burada belirlenen koşullar; hesaplamanın başlatıldığı tarihte malzemelerin sıcaklık, su içeriği ve bağıl nem miktarını gösteren koşullardır. Benzetim çalışmasında yapılan hesaplamalarda mevcut binalar için iç ve dış ortam nem miktarının ortalaması başlangıç nemi olarak alınırken, ısı yalıtım uygulaması yapılan binalarda inşa neminin etkisi de düşünülmüştür. Bu şekilde, ısı yalıtımı uygulaması sırasında oluşan nemin kuruma süresinin higrotermal performans üzerindeki etkisi de hesaplamalar için bir ölçüt olarak değerlendirilmiştir.

WUFI 2D benzetim aracının Yüzey/İklim (Surface/Climate) sekmesinde ise, oluşturulan dış duvar kesitlerinin tüm sınır yüzeylerinin maruz kaldığı iklim koşulları ile iç ortam koşulları ortam koşulları belirlenmektedir. Çalışma kapsamında yapılan

ilk hesaplama denemelerinde yazılımın kütüphanesinde bulunan soğuk iklim bölgelerinin verileri kullanılmıştır. Daha sonra, kütüphanede bulunmayan İstanbul iklim verileri meteonormdan elde edilerek yazılıma aktarılmıştır. İklim verilerine ek olarak yağmur suyu emme katsayısı, uzun ve kısa dalga ısınımı verilerinin belirlenmesi için denemeler yapılmıştır. Yönlenme durumunun hesaplama sonuçları üzerindeki etkisi de kontrol edilerek en olumsuz sonucu veren yön tercih edilmiştir.

İç ortam koşullarına ait veriler, hesaplamaları etkileyen çok fazla sayıda ölçüt olması nedeniyle yazılım kütüphanesinde bulunan standartlardan seçilmiş ve tüm alternatifler için sabit tutulmuştur. Ancak, bina bileşeninin maruz kaldığı iç ortam şartlarının higrotermal performans üzerindeki etkisinin çok fazla olduğu unutulmamalıdır. Hesaplama yapılan bina bileşeninin etkilendiği iç ortamın mutfak, banyo gibi yüksek nem oranını sahip bir hacim olması, konut ya da ofis fonksiyonuna sahip bir mekan olması, mekanı kullanan kişi sayısının değişkenlik göstermesi gibi nedenlerle iç ortam nemliliği değişeceğinden; bina bileşeninin higrotermal performansı da değişecektir. Bu konunun ilerdeki çalışmalarda daha kapsamlı olarak araştırılması ve bu bağlamda hesaplamalar yapılması düşünülmektedir.

5.2 Uygulama Örnekleri

Bu bölümde, alan çalışmasında gözlemlenen uygulama örneklerinin higrotermal performansı benzetimle yöntemiyle araştırılmaktadır. Alt bölümlerde sırasıyla, benzetimle hesaplama çalışması için belirlenen kabuller, hesaplama girdileri ve elde edilen sonuçlar anlatılmaktadır. İlk olarak alanda gözlemlenen uygulama örneklerinin benzetim aracı içinde modellenmesinden bahsedilmektedir. İkinci adımda, ağ sayısı seçimiyle ilgili yapılan denemelerle çalışmanın hassasiyetinin belirlenmesine yer verilmektedir. Üçüncü adımda, modellenen her bir kesiti oluşturan katmanlar için malzeme seçimi üzerinde durulmaktadır. Dördüncü adımda; seçilen her bir malzemenin, hesaplamanın başladığı tarihteki durumunu tanımlayan başlangıç koşulları girdileri anlatılmaktadır. Beşinci adımda, iklim verileri için girilen değerlerden ve iç ortam koşullarının belirlenmesinden bahsedilmektedir. Hesaplama başlatılmadan önce, hesaplama kriterleri ve zaman adımlarının belirlenmesine değinilmektedir. Son olarak, hesaplama bittiğinde elde edilen sonuçlar grafiklere aktarılarak karşılaştırmalarla değerlendirilmektedir.

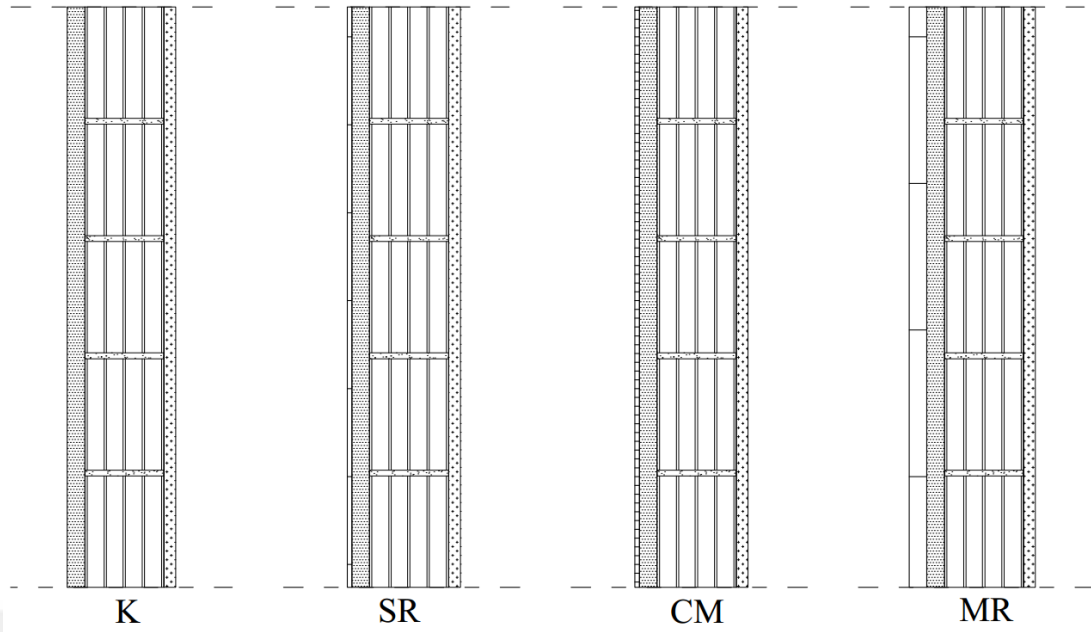
Çalışma kapsamında; dördüncü bölümde bahsedilen alan çalışmasından yola çıkılarak oluşturulan dış duvar kesitleri, mevcut durumlarına göre ve ısı yalıtımı sonrası durumlarına göre olmak üzere iki gruba ayrılarak benzetim aracı içinde modellenmiştir. Alt bölümlerde, iki grupta modellenen kesitler ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır.

5.2.1 Mevcut durumdaki kaplama malzemelerine göre modellenen örnekler

Alan çalışmasında gözlemlenen mevcut dış duvar yüzeyi tiplerinden yola çıkılarak dört farklı dış duvar kesiti üzerinde çalışılmıştır. Gözlemlenen binaların yapım yılları dikkate alınarak, modellenen kesitlerde duvar gövde malzemesi için 135 mm kalınlığında delikli tuğla belirlenmiştir. İç ve dış yüzeyler arasındaki sonuçların farkının daha net okunmasını sağladığı için, tuğla delikleri düşey olarak modellenmiştir. Benzetim çalışmasında yapılan hesaplama sonuçları karşılaştırılarak değerlendirildiği için, bazı ölçütler tüm kesitlerde aynı tutulmuştur.

Mevcut duvar kaplamalarının dış duvar yüzeyine yapıştırılmasında kullanılan ince yapıştırıcı katmanların benzetim sonuçlarını göz ardı edilebilecek düzeyde çok az etkilediği ancak benzetim süresinin çok uzamasına neden olduğu ön çalışmada görülmüştür. Kullanılan yapıştırıcının hem ince olması, hem benzetim sonuçlarını çok etkilememesi, hem de alttaki sıva katmanı ile aynı özellikte olması nedeniyle ayrı bir katman olarak değil, sıva katmanının yapıştırıcıyı da bünyesinde kapsadığı tek bir katman olarak kabul edilmiştir. Benzetim hesaplamalarında kullanılan duvar gövdesi, beş sıra düşey delikli tuğla bloktan oluşacak şekilde modellenmiştir. İç sıva kalınlığının 20 mm ve dış sıva kalınlığının 30 mm olarak tüm kesitlerde aynı olduğu ve mevcut duvar yüzeylerinde bulunan cam mozaik, seramik ve mermer kaplamaların derzlerinde su geçirmez derz dolgusu kullanıldığı kabul edilmiştir.

Mevcut durumlarına göre modellenen duvar kesitlerinin detayları Şekil 5.1’de görülmektedir. K kodlu duvar kesiti kontrol duvarı olarak kabul edilmiştir ve bu kesitte tuğla duvarın dış yüzeyinde 30 mm kalınlığında dış sıva, iç yüzeyinde 20 mm kalınlığında iç sıva vardır. SR kodlu kesitte, 30 mm dış sıva katmanının üzerinde 8 mm seramik kaplama bulunmaktadır. CM kodlu duvar kesitinde, 30 mm dış sıva katmanının üzerinde 8 mm kalınlığında cam mozaik kaplama vardır. MR kodlu kesitte, 30 mm dış sıva katmanının üzerinde 30 mm mermer kaplama bulunmaktadır.



Şekil 5.1 : Benzetim çalışması için modellenen mevcut dış duvar kesitleri

5.2.2 Uygulamada kullanılan ısı yalıtımı ve son kat kaplama malzemelerine göre modellenen örnekler

İkinci adımda; mevcut duvarlara yapılan dıştan ısı yalıtım uygulamalarından yola çıkılarak oluşturulan kesitler, ısı yalıtım malzemelerine göre ve son kat kaplama malzemelerine göre çeşitlendirilmiştir.

Alan çalışması yapılan bölgede yaygın olarak kullanıldığı görülen ısı yalıtım malzemeleri genişletilmiş polistiren (EPS) ve çekilmiş polistiren (XPS) ısı yalıtım levhalarıdır ve en kalın yalıtım levhası 40 mm'dir. Yaygın olan son kat kaplama malzemeleri de yalıtım üzerine uygulanan sıva ile doğal taş görünümlü seramik duvar kaplamasıdır. Bu nedenle, dış duvar kesitleri bu malzemelere göre oluşturulmuştur.

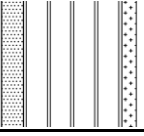
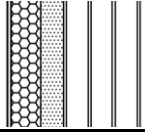
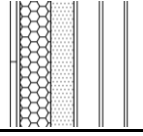
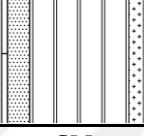
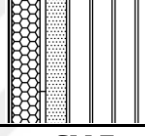
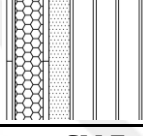
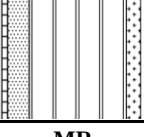
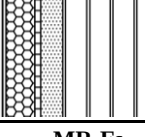
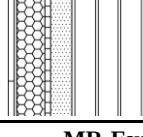
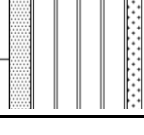
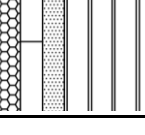
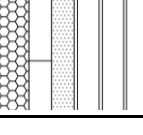
Benzetim çalışmasında hesaplama yapmak üzere modellenen duvar kesitlerinin detayları ve kesitlere verilen kodlar Çizelge 5.1'de görülmektedir. Çizelgedeki ilk sütunda mevcut duruma göre modellenen duvar kesitleri bulunmaktadır. İkinci sütunda görülen kesitlerde mevcut durumdaki duvar kesitlerinin üzerinde EPS yalıtım katmanı ve son kat sıva kaplama bulunmaktadır. EPS yalıtım katmanının üzerinde sıva kaplamanın bulunduğu durum "Es" olarak kodlanmıştır. Bu şekilde elde edilen yalıtımlı duvar kesitlerinin kodları K-Es, SR-Es, CM-Es ve MR-Es'dir. Üçüncü sütunda görülen duvar kesitlerinde, yalıtım üzerindeki son kat kaplama

seramik olarak değiştirilmiştir. Bu durum ise “Esr” olarak kodlanmıştır. Bu şekilde elde edilen yalıtımlı duvar kesitlerinin kodları K-Esr, SR-Esr, CM-Esr ve MR-Esr’dir. Çizelgede modellenen duvar kesitlerini oluşturan bütün katmanların kalınlığı ve çalışmada duvar kesitlerine verilen kodlar görülmektedir.

Çizelge 5.2’te aynı kesit alternatiflerinin 40 mm XPS yalıtım katmanıyla yeniden modellendiği görülmektedir. Çizelgede XPS yalıtım katmanıyla oluşturulan kesitlerin katmanları ve kodları belirtilmiştir. XPS yalıtım katmanı üzerinde sıva kaplamanın olduğu durum “Xs” olarak, seramik kaplamanın bulunduğu durum “Xsr” olarak kodlanmıştır.



Çizelge 5.1: EPS kaplamalı durum için modellenen kesitlerin katmanları ve kodları

	Mevcut Durum	Mevcut Durum +EPS+ Sıva Kaplama (Es)	Mevcut Durum +EPS+ Seramik Kaplama (Esr)
Bileşen Kodu	K	K-Es	K-Esr
Bileşen Katmanları	(D) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) yalıtım üzeri sıva kapl.(4 mm) EPS yalıtım levhası (40 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) seramik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (5 mm) EPS yalıtım levhası (40 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)
Bileşen Kesiti			
Bileşen Kodu	SR	SR-Es	SR-Esr
Bileşen Katmanları	(D) seramik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) yalıtım üzeri sıva kapl.(4 mm) EPS yalıtım levhası (40 mm) seramik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) seramik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (5 mm) EPS yalıtım levhası (40 mm) seramik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)
Bileşen Kesiti			
Bileşen Kodu	CM	CM-Es	CM-Esr
Bileşen Katmanları	(D) cam mozaik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) yalıtım üzeri sıva kapl.(4 mm) EPS yalıtım levhası (40 mm) cam mozaik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) seramik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (5 mm) EPS yalıtım levhası (40 mm) cam mozaik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)
Bileşen Kesiti			
Bileşen Kodu	MR	MR-Es	MR-Esr
Bileşen Katmanları	(D) mermer kaplama (30 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) yalıtım üzeri sıva kapl.(4 mm) EPS yalıtım levhası (40 mm) mermer kaplama (30 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) seramik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (5 mm) EPS yalıtım levhası (40 mm) mermer kaplama (30 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)
Bileşen Kesiti			

Çizelge 5.2 : XPS kaplamalı durum için modellenen kesitlerin katmanları ve kodları

	Mevcut Durum	Mevcut Durum +XPS+ Sıva Kaplama (Xs)	Mevcut Durum +XPS+ Seramik Kaplama (Xsr)
Bileşen Kodu	K	K-Xs	K-Xsr
Bileşen Katmanları	(D) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) yalıtım üzeri sıva kapl.(4 mm) XPS yalıtım levhası (40 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) seramik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (5 mm) XPS yalıtım levhası (40 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)
Bileşen Kesiti			
Bileşen Kodu	SR	SR-Xs	SR-Xsr
Bileşen Katmanları	(D) seramik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) yalıtım üzeri sıva kapl.(4 mm) XPS yalıtım levhası (40 mm) seramik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) seramik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (5 mm) XPS yalıtım levhası (40 mm) seramik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)
Bileşen Kesiti			
Bileşen Kodu	CM	CM-Xs	CM-Xsr
Bileşen Katmanları	(D) cam mozaik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) yalıtım üzeri sıva kapl.(4 mm) XPS yalıtım levhası (40 mm) cam mozaik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) seramik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (5 mm) XPS yalıtım levhası (40 mm) cam mozaik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)
Bileşen Kesiti			
Bileşen Kodu	MR	MR-Xs	MR-Xsr
Bileşen Katmanları	(D) mermer kaplama (30 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) yalıtım üzeri sıva kapl.(4 mm) XPS yalıtım levhası (40 mm) mermer kaplama (30 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)	(D) seramik kaplama (8 mm) çimento dış sıva (5 mm) XPS yalıtım levhası (40 mm) mermer kaplama (30 mm) çimento dış sıva (30 mm) tuğla duvar (135 mm) çimento+kireç sıva (20 mm) (İ)
Bileşen Kesiti			

5.3 Kesitleri Oluşturan Malzemelerin Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu bölümde, benzetim aracında modellenen tuğla gövdeli duvar kesitlerinin katmanları için seçilen malzemelerden bahsedilmektedir. Duvar kesitlerindeki katmanların bir kısmına yazılımın kütüphanesinde bulunan “IBP Fraunhauser” veritabanlı malzeme alternatifleri arasından seçilen malzemeler atanmıştır. Yazılımın kütüphanesinde bulunmayan malzemeler için standartlardan seçilen malzemelere ait özellikler yazılıma işlenerek, benzetim çalışması için malzeme oluşturulmuştur. Benzetim hesaplaması yapmak üzere modellenen farklı dış duvar kesitlerindeki katmanlar için seçilen malzemeler ve bu malzemelere ait teknik özellikler Çizelge 5.3’te görülmektedir. İlk satırda, mevcut duvar tipleri için tanımlanan duvar gövde malzemeleri ve iç sıva malzemesine ait teknik özellikler görülmektedir. Duvar gövdesi için düşey delikli tuğla ve iç sıva malzemesi için çimento-kireç esaslı sıva malzemesi seçilmiştir. Düşey delikli tuğla ve hava tabakası bölümü için yazılım kütüphanesindeki veriler kullanılmıştır. Çimento-kireç iç sıvanın teknik özellikleri için TS 825’ten yararlanılmıştır (TS 825, 2013).

İkinci satırdaki mevcut kaplama malzemeleri; cam mozaik, seramik kaplama ve mermer ile ilgili teknik özellikler BS EN ISO 10456 standardından alınmıştır (BS EN ISO 10456, 2007). Standartta belirtilmeyen malzeme özellikleri için, benzer bir malzemeye ait değerler kullanılmıştır.

Üçüncü satırda mevcut duvar tipleri üzerine uygulanan yalıtım malzemelerinin teknik özellikleri görülmektedir. EPS ve XPS ısı yalıtım levhalarıyla ilgili teknik özellikler için TS 825’ten yararlanılmıştır (TS 825, 2013). Isı yalıtımının ısı ve nemsel performansı ile ilgili alanda gözlemlenen olumsuz durumlar üzerinden hesaplama yapıldığı için, standartta belirtilen en düşük yoğunluklu ısı yalıtım malzemeleri seçilmiştir.

Dördüncü satırda dıştan ısı yalıtımı uygulaması yapılan duvarlar üzerine uygulanan son kat kaplama malzemelerine ait teknik özellikler görülmektedir. Son kat sıva kaplama için yazılımın kütüphanesindeki veriler kullanılmıştır.

Çizelge 5.3 : Dış duvar katmanları için tanımlanan malzeme özellikleri (BS EN ISO 10456, 2007), (TS 825, 2013)

Malzeme Özellikleri		gözeneklilik [m ³ /m ³]	hacim yoğunluğu [kg/m ³]	özgül ısı kapasitesi [J/kgK]	ısı iletkenlik katsayısı (λ) [W/mK]	su buharı difüzyon direnci (η) [-]
duvar gövdesi ve iç sıva malzemeleri	hava katmanı (10mm)	0,999	1,3	1000	0,071	0,73
	düşey delikli tuğla	0,77	1200	850	0,5	5
	çimento harç	0,3	2000	850	1,2	25
	çimento+kireç iç sıva	0,24	1800	850	1	15
mevcut kaplama malzemeleri	mermer kaplama	0,095	2800	1000	3,5	10000
	seramik kaplama	0,0001	2300	840	1,3	∞
	cam mozaik kaplama	0,0001	2000	750	1,2	∞
	çimento esaslı dış sıva	0,3	2000	850	1,2	25
ısı yalıtım malzemeleri	EPS yalıtım levhası	0,95	15	1500	0,04	20
	XPS yalıtım levhası	0,95	40	1500	0,04	250
son kat kaplama malzemeleri	seramik kaplama	0,0001	2300	840	1,3	∞
	çimento esaslı dış sıva	0,3	2000	850	1,2	25
	sıva kaplama (mineral)	0,24	1900	850	0,8	25

5.4 Başlangıç Koşullarının Belirlenmesi

Bu çalışmada benzetimi yapılan duvar kesitleri için seçilen malzemelerin başlangıç koşulları Çizelge 5.4’te görülmektedir. Mevcut duvarlarda ilk inşaa nemi etkisi görülmediğinden; mevcut dış duvar kesitlerini oluşturan malzemeler için bağıl nem miktarına, iç ve dış ortam nemlilik oranlarının ortalaması olan dengelenmiş durumdaki nem miktarı olarak %60 değeri girilmiştir. Seramik, cam mozaik ve mermer malzemelerinin buhar difüzyon direnci standartlarda çok yüksek değerlerde olduğu için başlangıç koşullarında bağıl nem miktarları “0” olarak belirlenmiştir. Yalıtım malzemelerinin başlangıç koşullarındaki bağıl nem miktarı da “0” olarak belirlenmiştir. Isı yalıtımı üzerine uygulanan sıva katmanları yeni uygulandığı için, ilk inşaa neminin de etkisiyle başlangıç koşullarındaki bağıl nem miktarı %80 olarak girilmiştir. Benzetim aracı, bağıl nem değeri girilen malzemenin su içeriğini kendisi hesaplamaktadır. Sıcaklık olarak ise yazılımda tanımlı olan değeri kullanılmıştır.

Çizelge 5.4 : Dış duvar katmanlarını oluşturan malzemelerin başlangıç koşulları

Başlangıç Koşulları		sıcaklık [°C]	su içeriği [kg/m³]	bağıl nem [-]
duvar gövdesi ve iç sıva malzemeleri	düşey delikli tuğla	20	0,6	0,6
	çimento harç	20	14,2	0,6
	çimento+kireç iç sıva	20	0,2	0,6
mevcut kaplama malzemeleri	mermer kaplama	20	0	0
	seramik kaplama	20	0	0
	cam mozaik kaplama	20	0	0
	çimento esaslı dış sıva	20	0,2	0,6
ısı yalıtım malzemeleri	EPS yalıtım levhası	20	0	0
	XPS yalıtım levhası	20	0	0
son kat kaplama malzemeleri	seramik kaplama	20	0	0
	çimento esaslı dış sıva	20	0,6	0,8
	sıva kaplama (mineral)	20	45	0,8
hava boşluğu	hava katmanı (air layer)	20	0,7	0,6

5.5 İklim Verilerinin ve İç Ortam Koşullarının Belirlenmesi

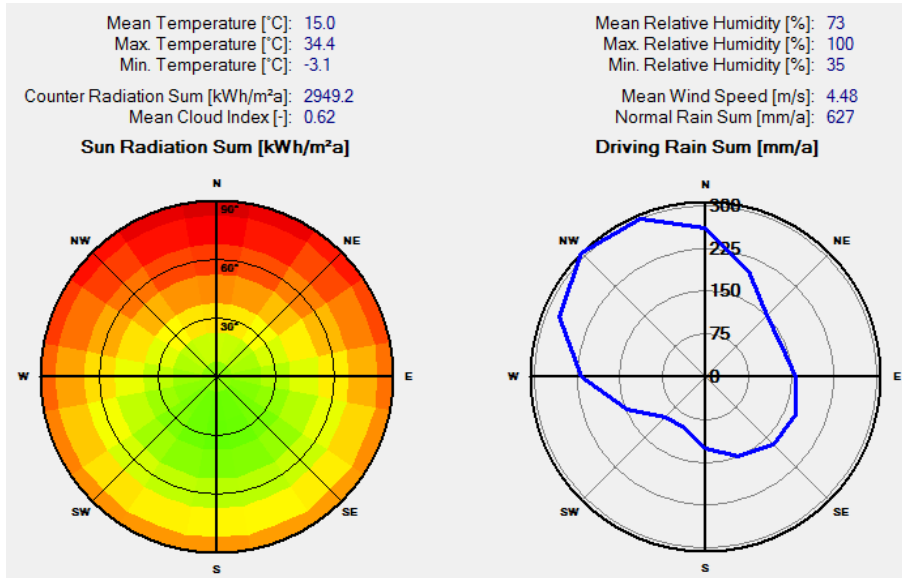
Bu adımda, modellenen kesit çevresindeki her bir yüzey ayrı ayrı seçilerek, temas ettiği ortama ait koşullar yazılıma işlenmiştir. Yüzey koşulları belirlenirken, öncelikle, dış duvar kesitlerinin alt ve üst yüzeylerinin devam ettiği varsayıldığı için bu yüzeyler ısı iletmez (adiabatic) olarak belirlemiştir. Dış ortamla temas eden yüzeyler için, meteonormdan alınan İstanbul iklim verileri kullanılarak dış ortam koşulları oluşturulmuştur. Meteonormdan alınan İstanbul iklim verileri, 1996-2005 zaman aralığındaki sıcaklık verilerinden elde edilen ortalama bir referans yıla dayanmaktadır. İklim verilerinde İstanbul'a ait hava sıcaklıklarının yanında bulutluluk oranı, hakim rüzgar yönü, rüzgar hızı, hava basıncı ve bağıl nem bilgileri de yer almaktadır. İklim verilerinin yanında benzetim aracına el ile girilmesi gereken ısı transfer katsayısı, uzun ve kısa dalga ışınlamaları, yağmur suyu emme katsayısı değerleri belirlenirken; WUFI 2D benzetim aracı ile İstanbul iklim verileri kullanılarak olumsuz iklim koşulları altında gerçekleşen durumu hesaplamak amacıyla yapılan benzer bir çalışmadan yararlanılmıştır (Edis & Kuş, 2014). Çizelge

5.5'te iklim koşullarına ait elle girilen veriler görülmektedir. Azimutun 135 olarak girilmesi, dış duvar kesitinin kuzeybatı yönüne yönlendirilmiş olduğunu, eğimin 90 derece olması da, dış duvarın zemine dik olarak konumlandığını ifade etmektedir.

Çizelge 5.5 : Dış ortam koşullarına ait veriler

Dış Ortam İklim Koşullarıyla İlgili Veriler					
ısı transfer katsayısı [W/m^2K]	kısa dalga ışıınımı	uzun dalga ışıınımı	yağmur suyu emme katsayısı	azimut	eğim (°)
25	0,5	0,9	0,5	135 (KB)	90

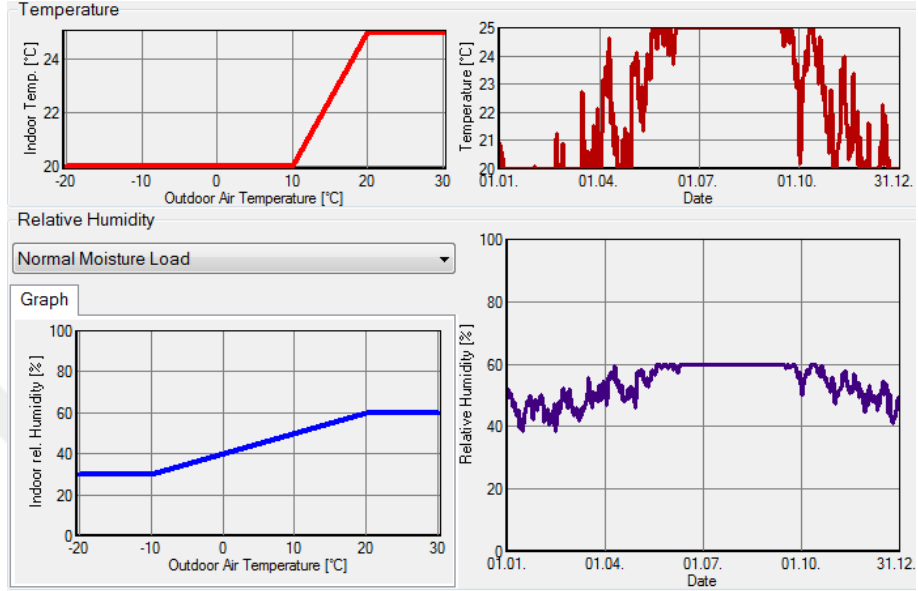
Benzetim aracı tarafından, İstanbul ilinin iklim verilerinden yola çıkılarak oluşturulan güneş ışıınımı ve rüzgarla itilen yağmur suyuna ait grafikler Şekil 5.2'de görülmektedir. Soldaki diyagramdan İstanbul ilinde güneşlenmenin güney yönünde yoğun olduğu, sağdaki diyagramdan rüzgarla itilen yağmur suyunun en etkin olduğu yönün kuzeybatı yönü olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle, yapılan hesaplamalarda olumsuz iklim koşullarının etkisini görmek amacıyla rüzgarla itilen yağmur suyunun en etkili olduğu kuzeybatı yönü tercih edilmiştir.



Şekil 5.2 İstanbul iline ait güneşlenme ve yağmur yönü grafikleri

İç ortam koşulları için WUFI 2D kütüphanesinde bulunan EN 15026 standardının verileri kullanılmıştır. Şekil 5.3'te benzetim çalışması için belirlenen iç ortam koşullarına ait veriler görülmektedir. Grafiklerde dış ortam koşullarına bağlı olarak iç

ortamda sağlanması gereken sıcaklık ve bağıl nem koşulları gösterilmiştir. Şekildeki grafiklere göre dış ortam sıcaklığı 20 °C'nin üzerine çıktığında, iç ortamdaki sıcaklık 25 °C ve bağıl nem %60 olarak sabitlenmektedir. Dış ortamdaki sıcaklık 0 °C'nin altına düştüğünde ise, iç ortamdaki sıcaklık 20 °C'de sabit kalmakta ve bağıl nem %30'a kadar azalmaya devam etmektedir.



Şekil 5.3 EN 15026 standardına göre sağlanması gereken iç ortam koşulları

İç ortamın kullanım amacı, örneğin mutfak ya da ıslak hacim oluşu, nemlilik ve sıcaklık miktarını değiştireceği için sonuçları etkileyecektir. Böyle durumlar için hesaplama yapıldığında, benzetim aracında tanımlanan iç ortam verileri el ile güncellenebilmektedir.

5.6 Hesaplama Kriterlerinin Belirlenmesi

WUFI 2D benzetim aracında modellenen dış duvar kesitleri için malzeme seçimi, başlangıç ve iklim koşullarının belirlenmesi adımlarının tamamlanmasının ardından hesaplama bölümüne geçmeden önce, Hesaplama Kriterleri (Computational Parametres) sekmesinde hesaplama yapılacak tarih, hesaplama yapılacak süre ve hesaplanması istenen performans ölçütleri belirlenmektedir.

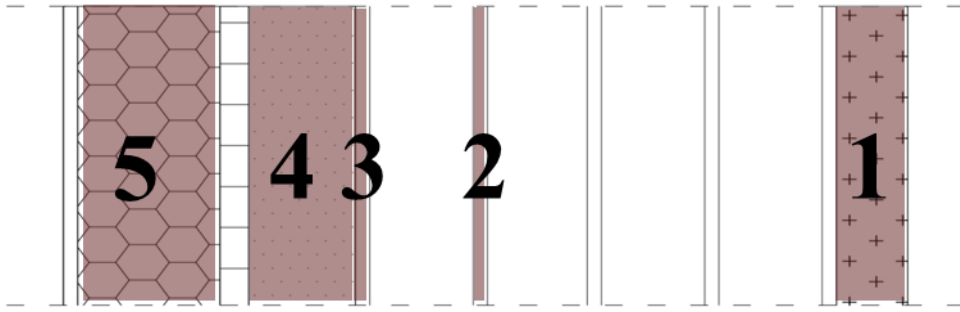
Benzetim çalışması kapsamındaki hesaplamalar için, hesaplamanın başlama tarihi 01.06.2015 ve hesaplama süresi 8760 saat (1 yıl) olarak belirlenmiştir. Hesaplanması istenen performans ölçütleri olarak; sıcaklık (temperature), su içeriği (water content) ve bağıl nem (relative humidity) seçenekleri işaretlenmiştir. Hesaplama

sekmesindeki Düşük Öncelik (Low Priority) seçeneği devre dışı bırakılarak ayrıntılı bir hesaplama yapılması sağlanmıştır.

5.7 Hesaplamanın Başlatılması ve Sonuçların Alınması

Dış duvar kesitlerine ait bütün girdiler belirlenerek benzetim aracına işlendikten sonra, Hesaplama (Processing) sekmesinde hesaplama başlatılmıştır. Hesaplama bittikten sonra; dış duvar kesitinde süreç boyunca gerçekleşen higrotermal performans bir grafik üzerinde canlandırma olarak izlenmiştir. Hesaplama sonuçlarını değerlendirmek için, dış duvar kesitlerini oluşturan katmanların süreç boyunca performansını gösteren iki boyutlu grafiklerden yararlanılmıştır.

Şekil 5.4'te, hesaplama süreci boyunca değişen sıcaklık, su içeriği ve bağıl nem sonuçları grafik olarak görüntülenen bölgeler gösterilmektedir. 1 nolu bölge iç sıva katmanını, 2 ve 3 nolu bölgeler tuğla duvara ait bölümleri, 4 nolu bölge dış sıva katmanını ve 5 nolu bölge yalıtım katmanını ifade etmektedir. Modellenen her kesit için bu katmanlara ya da katman üzerindeki belirli bir noktaya ait sonuçlar değerlendirilmiştir. Benzetim hesaplamalarında önemli bulunan sonuçların bir kısmı bir sonraki bölümde yorumlanmaktadır.



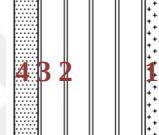
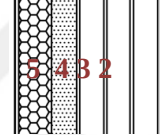
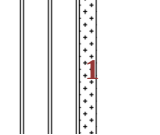
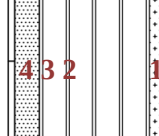
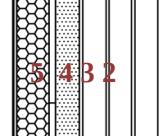
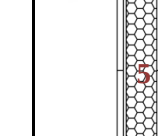
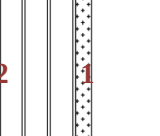
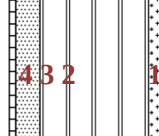
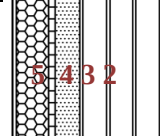
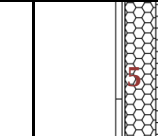
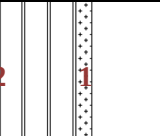
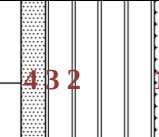
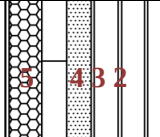
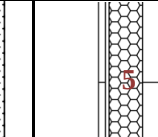
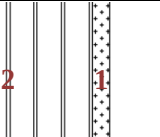
Şekil 5.4 Duvar kesiti üzerinde hesaplama sonuçları değerlendirilen bölgeler

Çizelge 5.6'da, bütün dış duvar kesitleri için yapılan benzetim hesaplamalarının matrisi bulunmaktadır. Matriste kesitler üzerindeki hangi bölgelere ait hesaplama sonuçlarının değerlendirildiği gösterilmektedir. Çizelgenin üst bölümünde, modellenen dış duvar kesitleri için 1 yıllık hesaplama yapıldığı belirtilmektedir. Bütün hesaplamalar meteonormdan elde edilen İstanbul iklim verileri kullanılarak yapılmıştır. İklim dosyası referans bir yıla ait verileri içerdiği için, uzun yıllara ait hesaplamalarda sonuçların kendini tekrarladığı görülmüştür. Bu nedenle karşılaştırmalarda 1 yıla ait benzetim sonuçlarının kullanılmasına karar verilmiştir.

Yapılan benzetim hesaplamaları sonunda, çizelgede gösterilen 96 katmana ait 288 adet sonuç elde edilmiştir. Bu sonuçlar katmanların sıcaklık, su içeriği ve bağıl nem performanslarını göstermektedir.

Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçların bir kısmı, karşılaştırma grafikleri olarak sunulmakta ve yorumlanmaktadır.

Çizelge 5.6 : Hesaplama Matrisi

Hesaplanan Süre	1 yıl - (01.06.2015 - 01.06.2016)					
Hesaplanan Durum	Mevcut Durum	Mevcut Durum + EPS/XPS+Sıva Kaplama		Mevcut Durum + EPS/XPS+Seramik Kaplama(Es)		
Kodlar	K	K-Es	K-Xs	K-Esr	K-Xsr	
Hesaplama Bölgeleri	dış sıva (4) tuğla (2,3) iç sıva (1)	yalıtım (5) dış sıva (4) tuğla (2,3) iç sıva (1)	tuğla (2,3) iç sıva (1)	yalıtım (5) dış sıva (4) tuğla (2,3) iç sıva (5)		
Kesitler						
Kodlar	SR	SR-Es	SR-Xs	SR-Esr	SR-Xsr	
Hesaplama Bölgeleri	dış sıva (4) tuğla (2,3) iç sıva (1)	yalıtım (5) dış sıva (4) tuğla (2,3) iç sıva (1)	tuğla (2,3) iç sıva (1)	yalıtım (5) dış sıva (4) tuğla (2,3) iç sıva (1)		
Kesitler						
Kodlar	CM	CM-Es	CM-Xs	CM-Esr	CM-Xsr	
Hesaplama Bölgeleri	dış sıva (4) tuğla (2,3) iç sıva (1)	yalıtım (5) dış sıva (4) tuğla (2,3) iç sıva (1)	tuğla (2,3) iç sıva (1)	yalıtım (5) dış sıva (4) tuğla (2,3) iç sıva (1)		
Kesitler						
Kodlar	MR	MR-Es	MR-Xs	MR-Esr	MR-Xsr	
Hesaplama Bölgeleri	dış sıva (4) tuğla (2,3) iç sıva (1)	yalıtım (5) dış sıva (4) tuğla (2,3) iç sıva (1)	tuğla (2,3) iç sıva (1)	yalıtım (5) dış sıva (4) tuğla (2,3) iç sıva (1)		
Kesitler						

Hesaplamalar bittikten sonra; ‘WUFI 2D Launch Result Viewer (1D)’ adlı grafik görüntüleme programı açılarak, seçilen katman ve noktalara ait hesaplama sonuçları grafik olarak görüntülenmiştir. Benzetim aracının oluşturduğu grafiklerde karşılaştırma yapma olanağı bulunmadığı için, grafik olarak görüntülenen sonuçlar tek tek sayısal verilere dönüştürülerek Excell dosyasına aktarılmış ve belirlenen karşılaştırma ölçütlerine göre grafikler oluşturulmuştur.

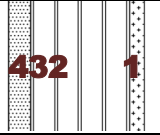
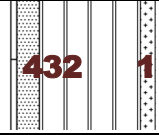
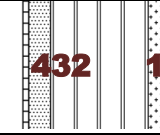
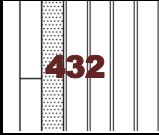
5.8 Benzetim Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Hesaplamalardan elde edilen sayısal sonuçlarla oluşturulan grafikler; mevcut duruma göre, ısı yalıtımı uygulaması yapılan yüzeylere göre, ısı yalıtımı malzemelerine göre ve son kat kaplama malzemelerine göre olmak üzere dört bölümde ele alınmaktadır. Bu yöntemle, modellenen duvar kesitlerinin dıştan ısı yalıtımı uygulaması öncesi ve sonrası durumlarda ve kullanılan malzemenin farklılaşması durumunda gösterdiği higrotermal performans değerlendirilmektedir.

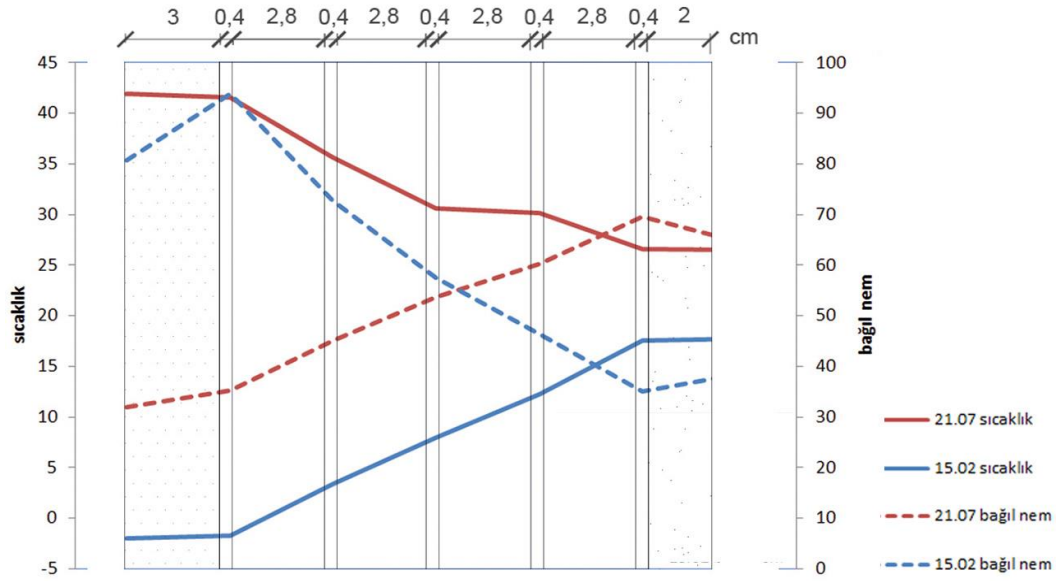
5.8.1 Dış duvarların mevcut durumlarının higrotermal performansı

Higrotermal performansın değerlendirilmesine bütün dış duvar alternatiflerinin mevcut durumlarının analiz edilmesiyle başlanmıştır. Çizelge 5.7’de benzetim çalışmasında kullanılan mevcut duvar kesitleri ve higrotermal performansı değerlendirilen duvar katmanları görülmektedir. Bu bölümde, mevcut dış duvar kesitlerini oluşturan dış sıva, tuğla ve iç sıva katmanlarının hesaplama sonuçları grafikler üzerinden değerlendirilmektedir.

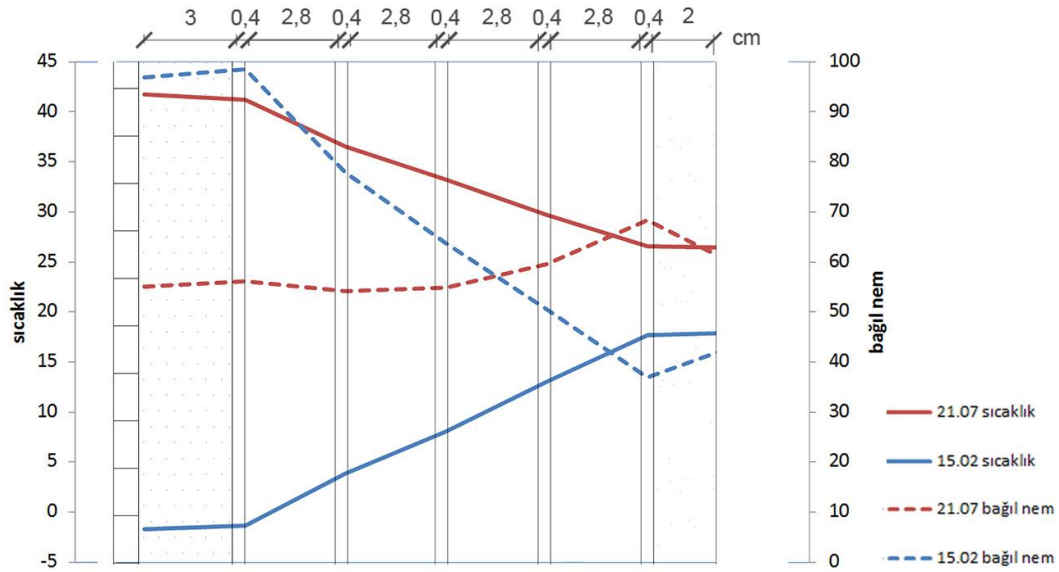
Çizelge 5.7 : Dış duvarların mevcut durumlarına göre kontrol kesitleri

Mevcut Durum	Benzetim Hesaplaması - 1 yıl			
Bileşen Kodu	K	SR	CM	MR
Bileşen Katmanları	mevcut sıva kaplama	mevcut seramik kaplama	mevcut cam mozaik kaplama	mevcut mermer kaplama
Bileşen Kesiti				
Sonuçlar	çimento esaslı dış sıva katmanlarının performansı (4 nolu bölge)			
	tuğla duvar katmanlarının performansı (2,3 nolu bölge)			
	çimento ve kireç esaslı iç sıva katmanlarının performansı (1 nolu bölge)			

Şekil 5.5'te; mevcut yüzeyi sıva kaplamalı olan K kodlu kontrol duvarının (a) ve CM kodlu cam mozaik kaplamalı duvarın (b) bünyesinde, iklim verilerine göre yılın en sıcak günü olan 21 Temmuz'da ve yılın en soğuk günü olan 15 Şubat'ta gerçekleşen anlık sıcaklık ve nem miktarlarını gösteren grafikler bulunmaktadır. İki grafikte de, duvar kesitinin dış sıva katmanında ve tuğlanın dış sıvaya yakın olan bölümünde sıcaklıkların yaz döneminde çok yüksek ve kış döneminde çok düşük olduğu görülmektedir. Sıcaklık değerleri iki grafikte de çok yakın olup, yaz döneminde dış sıvada görülen en yüksek sıcaklık yaklaşık 43 °C, kış döneminde görülen en düşük sıcaklık yaklaşık -3 °C'dir. İç katmanlara doğru sıcaklık değerleri yazın azalırken kışın artmaktadır. Bu durumun nedeni tuğlanın delikli olması ve hava tabakasının ısı direncinin yüksek olmasıdır. Diğer yandan, kış döneminde iç katmanlara doğru nem oranının düşmekte olduğu ve yaz döneminde iç ortama doğru nem oranının yükselmekte olduğu görülmektedir. K kontrol duvarının dış sıva katmanında yaz döneminde yaklaşık %30'lara düşen nem oranı, kış döneminde yaklaşık %90'a yükselmektedir. CM cam mozaik kaplamalı duvarda ise, dış sıvada ve tuğlanın dış sıvaya yakın bölümünde nem oranının K kontrol duvarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu bölgedeki nem oranının kış döneminde %100'e ve yaz döneminde %60'a yakın olduğu grafikten anlaşılmaktadır. Bu durumda, kış dönemindeki düşük sıcaklık ve yüksek nem oranının ve yaz-kış geçişlerinde oluşacak gerilmelerin uzun dönemde duvar bünyesinde ve duvar kaplamasında hasara neden olması beklenir.



(a) K kodlu sıva kaplamalı duvar



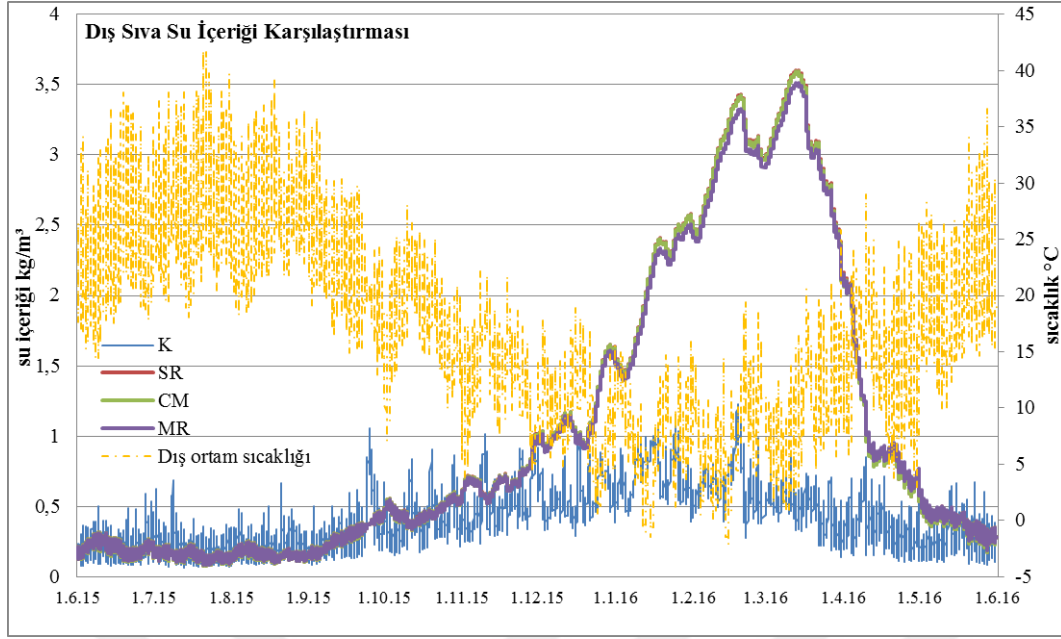
(b) CM kodlu cam mozaik kaplamalı duvar

Şekil 5.5 K (kontrol) ve CM (mozaik kaplamalı) duvar katmanlarının yılın en sıcak ve en soğuk günlerindeki sıcaklık ve bağıl nemi

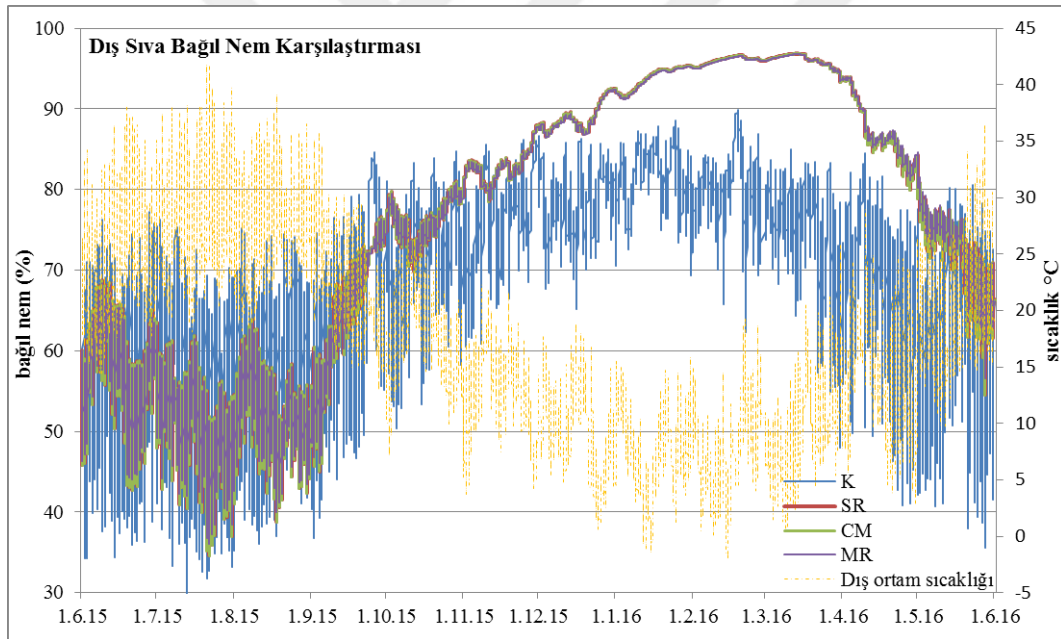
Şekil 5.6.a'da, mevcut duvar kesitlerinin dış sıva katmanlarında bir yıl boyunca gerçekleşen su içeriği miktarındaki değişimleri gösteren bir grafik bulunmaktadır. Grafiğe göre, K duvarının dış sıva katmanındaki su içeriği miktarı yıl boyunca çok fazla iniş çıkış yapmaktadır. Bu nedenle, K duvarının dış ortamın nem miktarındaki

değişime ve yağış etkilerine açık olduğu anlaşılmaktadır. Özetle, K duvarının dış sıva katmanını çabuk ıslanıp çabuk kurumakta ve sene boyunca aynı performansı göstermektedir. SR, CM ve MR kodlu duvar kesitlerinin kaplama altında kalan harç kısmının kısa dönemdeki iklim değişimlerinden çok fazla etkilenmediği görülmektedir. Ayrıca mermer, seramik ve cam mozaik kaplamalı duvarların kaplama altındaki harç bölgesindeki su miktarı kış döneminde K kodlu duvara göre çok fazla yükselmektedir. MR duvar kesitinde mermer olan kaplama malzemesinin buhar difüzyon direnci cam mozaik ve seramik kaplamaya göre çok az daha düşük olduğundan, hesaplama sonuçları bu duvarlara göre çok az farklılık göstermektedir. Seramik ve cam mozaik kaplama malzemelerinin iç yapıları çok farklı olsa da standarttan alınarak benzetim aracına girilen teknik özelliklerinin benzer olması çok yakın sonuçlar vermelerine neden olmuştur. Kil esaslı seramik kaplamayla, cam esaslı cam mozaik kaplamanın iç yapılarının, derz miktarlarının ve yaz-kış dönemlerinde sıcaklık değişimlerine gösterdikleri tepkilerin farklı olması gibi nedenlerle performanslarının gerçek durumda daha farklı olabileceği düşünülmektedir. Hesaplama sonuçlarına göre, dış sıva katmanlarına ait en yüksek su içeriği miktarı SR ve CM kodlu duvarlarda yaklaşık $3,5 \text{ kg/m}^3$ olarak görülmektedir. En düşük su içeriği miktarı ise K kodlu duvarda yaklaşık $0,1 \text{ kg/m}^3$ olarak görülmektedir.

Şekil 5.6.b’de, dış duvar alternatiflerinin mevcut durumda dış sıva katmanlarında bir yıl boyunca gerçekleşen bağıl nem miktarı değişimlerini gösteren bir karşılaştırma grafiği bulunmaktadır. Sıva kaplamalı olan K kodlu duvarın dış sıva katmanının bağıl nem oranının çok fazla iniş çıkış yaptığı ve sene boyunca benzer performansı gösterdiği görülmektedir. Seramik kaplamalı olan SR, cam mozaik kaplamalı olan CM ve mermer kaplamalı olan MR kodlu duvarların dış sıvalarının bağıl nem oranlarının yaz döneminde %40’ın altına düştüğü, kış döneminde ise %100’e yaklaştığı görülmektedir. Bu grafikten; SR, CM ve MR duvarlarındaki kaplamaların iç ortamdaki nemin dışarıya çıkmasını engellediği ve yaz döneminde duvarların iç ortama doğru kurumasına neden olduğu sonucuna varılmıştır.



(a) Duvar alternatiflerinin dış sıva su içeriği miktarı



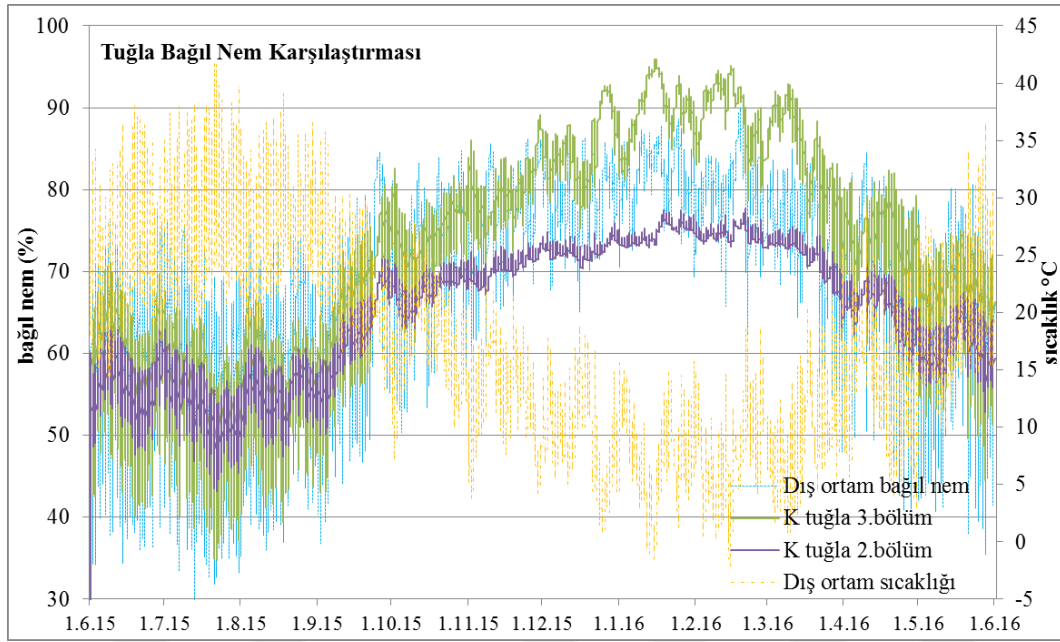
(b) Duvar alternatiflerinin dış sıva bağıl nem miktarı

Şekil 5.6 Duvar alternatiflerinin dış sıva katmanlarının mevcut durumdaki su içeriği ve bağıl nem miktarlarının karşılaştırması

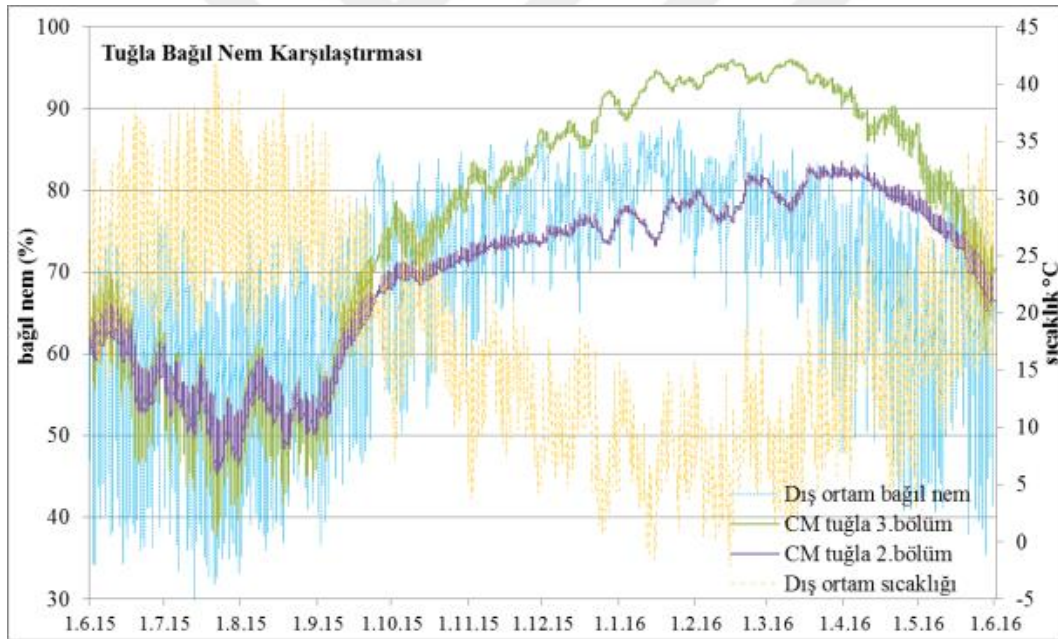
Şekil 5.7.a'da, sıva kaplamalı K kodlu dış duvar kesitinin tuğla katmanının matraste belirtilen 2 ve 3 nolu bölümlerinde yıl boyunca gerçekleşen bağıl nem miktarı değişimlerini gösteren bir karşılaştırma grafiği bulunmaktadır. Şekil 5.7.b'deki grafik ise cam mozaik kaplamalı CM kodlu dış duvar kesitinin tuğla katmanının matraste

belirtilen 2 ve 3 nolu bölümlerinde yıl boyunca gerçekleşen bağıl nem miktarı değişimlerini göstermektedir. K ve CM duvar kesitlerinin ikisinde de tuğla katmanına ait 2 ve 3 nolu bölümün bağıl nem oranının kış döneminde yükseldiği görülmektedir. Dış sıvaya yakın olan bölümün bağıl nem oranı, kış döneminde daha yüksek ve yaz döneminde daha düşüktür. Ayrıca, kış döneminde CM kodlu duvarın tuğla katmanının bağıl nem oranı K kodlu duvara göre yaklaşık %20 daha fazla olmaktadır. Bu durum, cam mozaik kaplamalı duvarda kış döneminde tuğlanın dış ortama yakın bölümlerinde yüksek oranlarda nem birikimi gerçekleştiğini göstermektedir. Aynı zamanda, grafiklerde kış döneminde dış ortam sıcaklığının 0 derecenin altına düşmektüğü görülmektedir. Bu durumda, uzun dönemde tuğlanın dış kısmında don olması beklenebilir.

Ayrıca, yapılan hesaplamalarda tuğlanın iç bölümlerine doğru bağıl nem miktarının ve su içeriğinin kış döneminde azaldığı görülmüştür. Bu durum, CM kodlu duvarın iç ortama doğru kuruduğunu ve kış döneminde iç ortamdaki nemin dışarıya çıkmasına engel olduğunu göstermektedir.



(a) K kodlu duvarın tuğla katmanındaki bağıl nem miktarı



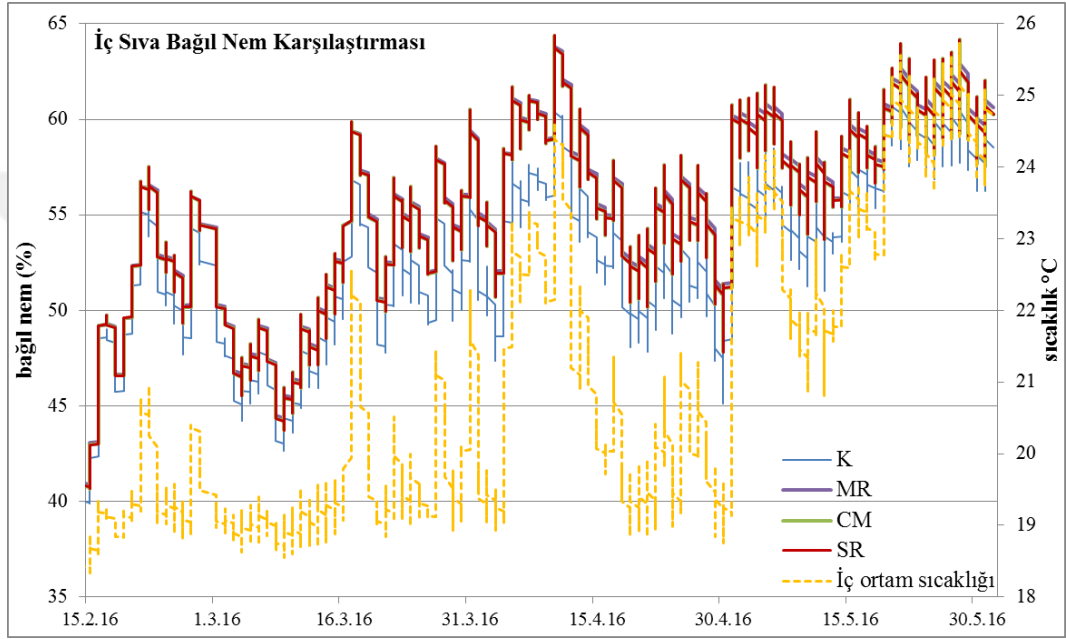
(b) CM kodlu duvarın tuğla katmanındaki bağıl nem miktarı

Şekil 5.7 K kontrol duvarı ile CM cam mozaik kaplamalı duvarın tuğla katmanlarının mevcut durumda bağıl nem miktarındaki değişim

Şekil 5.8’de, sıva kaplamalı (K), mermer kaplamalı (MR), cam mozaik kaplamalı (CM) ve seramik kaplamalı (SR) duvar kesitlerinin iç sıva katmanlarında Şubat-Mayıs tarihleri arasında gerçekleşen bağıl nem oranlarındaki değişimleri gösteren karşılaştırma grafiği bulunmaktadır. Grafikte SR, CM ve MR kodlu duvar

kesitlerinin iç sıva katmanlarının bağıl nem değerlerinde önemli bir farklılık görülmemektedir. SR, CM ve MR kodlu duvarların iç sıva katmanlarındaki bağıl nem oranları bu dönemde K duvarının iç sıva katmanındaki bağıl nem oranlarına göre bir miktar daha yüksektir.

Dış duvar alternatifleriyle yapılan hesaplamalarda; seramik, cam mozaik ve mermer kaplamanın birbirine çok yakın sonuçlar vermesi nedeniyle, bundan sonraki karşılaştırmalara cam mozaik ile devam edilmektedir.

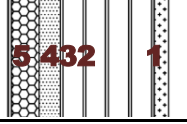
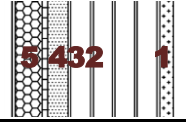
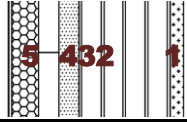


Şekil 5.8 Duvar iç sıva katmanlarının mevcut durumda bağıl nem miktarındaki değişim

5.8.2 Dıştan ısı yalıtımı yapılan yüzeylere göre higrotermal performans

Bu bölümde; dıştan ısı yalıtımı uygulaması yapılmış olan duvar alternatiflerinin hesaplama sonuçları, mevcut durumdaki duvar yüzeylerinin farklılığına göre değerlendirilmektedir. Oluşturulan karşılaştırma grafiklerinde, mevcut duvar yüzeyi üzerine EPS ısı yalıtım malzemesi ile son kat sıva uygulamasının yapıldığı durumların hesaplanmasından elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Çizelge 5.8’de, dıştan ısı yalıtımı uygulaması yapılan yüzeylere göre hesaplama sonuçları karşılaştırılan ısı yalıtımlı duvar kesiti alternatifleri görülmektedir. Çizelgenin en alt satırında, karşılaştırma grafiklerinde kullanılan sonuçların alındığı bölgeler açıklanmaktadır.

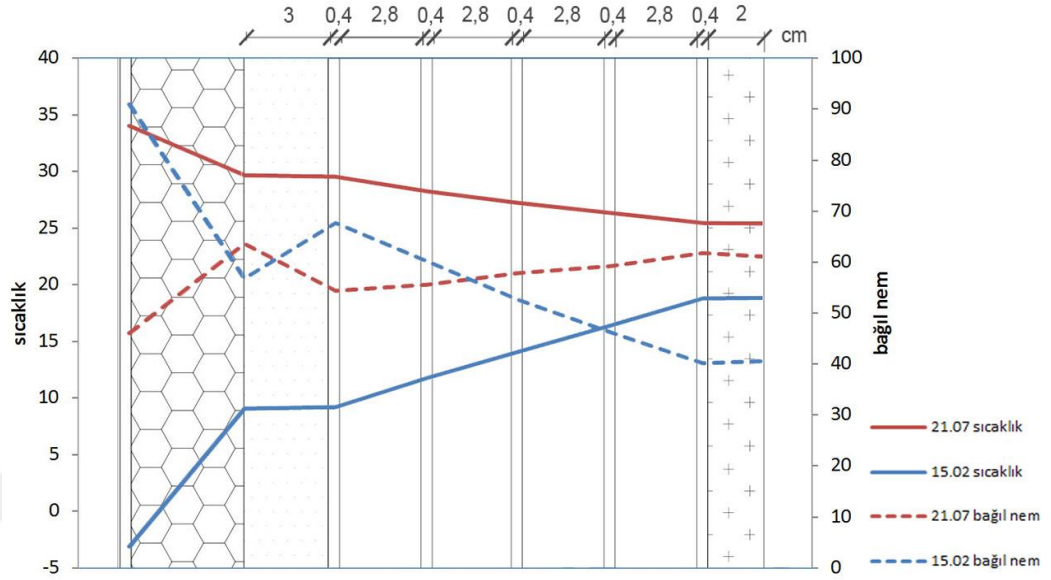
Çizelge 5.8: Dıştan ısı yalıtımı yapılan yüzeylere göre kontrol kesitleri

ısı yalıtımı yapılan yüzeye göre	Benzetim Hesaplaması - 1 yıl			
Bileşen Kodu	K-Es	SR-Es	CM-Es	MR-Es
Bileşen Katmanları	mevcut sıva+EPS+ son kat sıva	mevcut seramik +EPS+son kat sıva	mevcut cam mozaik +EPS+son kat sıva	mevcut mermer +EPS+son kat sıva
Bileşen Kesiti				
Sonuçlar	EPS yalıtım katmanlarının performansı (5 nolu bölge)			
	çimento esaslı dış sıva katmanlarının performansı (4 nolu bölge)			
	tuğla duvar katmanlarının performansı (2,3 nolu bölge)			
	iç sıva katmanlarının performansı (1 nolu bölge)			

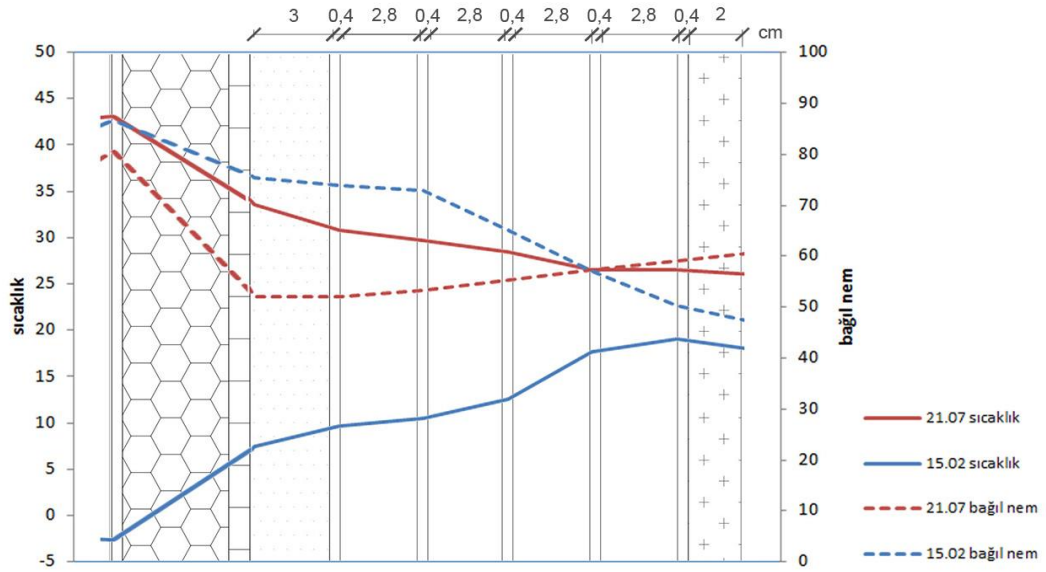
Şekil 5.9.a'da, EPS ısı yalıtım levhası ve son kat sıva uygulaması yapılmış ve mevcut duvar yüzeyi sıva kaplamalı olan K-Es kodlu kontrol duvarının bünyesinde iklim verilerine göre yılın en sıcak günü olan 21 Temmuz'da ve yılın en soğuk günü olan 15 Şubat'ta gerçekleşen anlık ısı ve nem akışlarını gösteren bir grafik bulunmaktadır. Grafikte, duvar kesiti bünyesindeki sıcaklık değerlerinin yalıtımsız duruma göre kış döneminde daha yüksek, yaz döneminde daha düşük olduğu görülmektedir. Kış döneminde dış sıvadaki en düşük sıcaklık yaklaşık 8 °C iken yaz döneminde dış sıvadaki en yüksek sıcaklık yaklaşık 35 °C'dir. İç katmanlara doğru sıcaklık değerleri yaz döneminde azalırken kış döneminde artmaktadır. Isı yalıtımı uygulaması sonrası sıcaklık değerlerinin mevcut duruma göre değişmesine bağlı olarak, bağıl nem oranları da değişiklik göstermiştir.

Şekil 5.9.b'de, EPS ısı yalıtım levhası ve son kat sıva uygulaması yapılmış ve mevcut duvar yüzeyi cam mozaik kaplama olan CM-Es kodlu duvar kesitinin bünyesinde yılın en sıcak ve en soğuk günlerinde gerçekleşen anlık sıcaklık ve bağıl nem miktarını gösteren bir grafik bulunmaktadır. Grafikte, duvar kesiti bünyesindeki sıcaklık değerlerinin yalıtımsız duruma göre iyileştiği görülmektedir. İç sıva sıcaklık değerleri K-Es kodlu duvar kesitinde olduğu gibi, 21 Temmuz'da yaklaşık 26 °C ve 15 Şubat'ta yaklaşık 17 °C'dir. Bağıl nem oranlarının ise, cam mozaik kaplamanın arkasındaki sıva kaplamada kışın yüksek ve yazın düşük olduğu görülmektedir. Kış döneminde bağıl nem oranı iç ortama doğru azalmakta, yaz döneminde ise artmaktadır. Bu durum, kış döneminde dış sıva ve tuğlanın dış sıvaya yakın bölümlerinde %80'e yaklaşan bağıl nem oranının bu bölgelerde yoğunlaşmaya neden

olabileceği anlamına gelmektedir. Diğer yandan yaz döneminde duvar bünyesindeki nem iç ortama doğru hareket etmekte ve iç ortamın nemlilik oranını arttırmaktadır.



(a) K-Es kodlu duvar

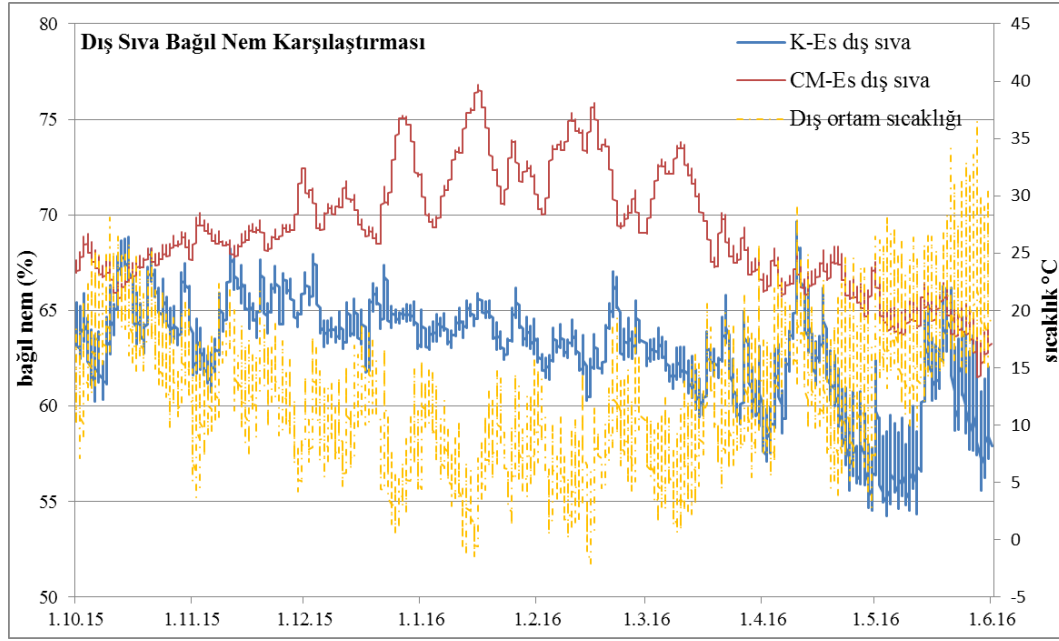


(a) CM-Es kodlu duvar

Şekil 5.9 K-Es ve CM-Es kodlu dış duvar katmanlarının yılın en sıcak ve en soğuk günlerindeki sıcaklık ve bağıl nemi

Şekil 5.10'da, mevcut sıva üzerine EPS yalıtım malzemesi ve son kat sıva kaplama uygulanmış olan K-Es kodlu duvar kesiti ile mevcut cam mozaik kaplama üzerine EPS yalıtım malzemesi ve son kat sıva uygulaması yapılmış olan CM-Es kodlu duvar kesitlerinin dış sıva katmanlarının Ekim-Haziran tarihleri arasındaki sıcaklık

değerlerini ve bağıl nem miktarlarını gösteren bir grafik bulunmaktadır. İki duvarda da dış sıva katmanındaki bağıl nem miktarı, mevcut duruma göre daha düşüktür. K-Es kodlu duvar kesitinde dış sıvanın bağıl nem miktarı %70'in altındayken, CM-Es kodlu duvar kesitinde dış sıva katmanının bağıl nem oranı kış döneminde %80'e ulaşmaktadır. Bu sonuçlar, cam mozaik kaplama altında bulunan sıva katmanının dış ortama doğru kuruyamadığını ve kış döneminde bu bölgede nem biriktiğini göstermektedir. Düşük ortam sıcaklığı ve %80'e ulaşan nem oranı, bu bölgede yoğunlaşma ihtimalinin bulunması anlamına gelmektedir.

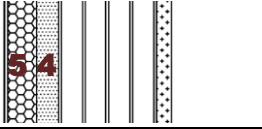
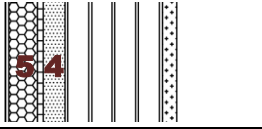


Şekil 5.10 K-Es ve CM-Es kodlu dış duvarlardaki çimento dış sıva katmanlarının bağıl nemi

5.8.3 Isı yalıtımı malzemesine göre higrotermal performans

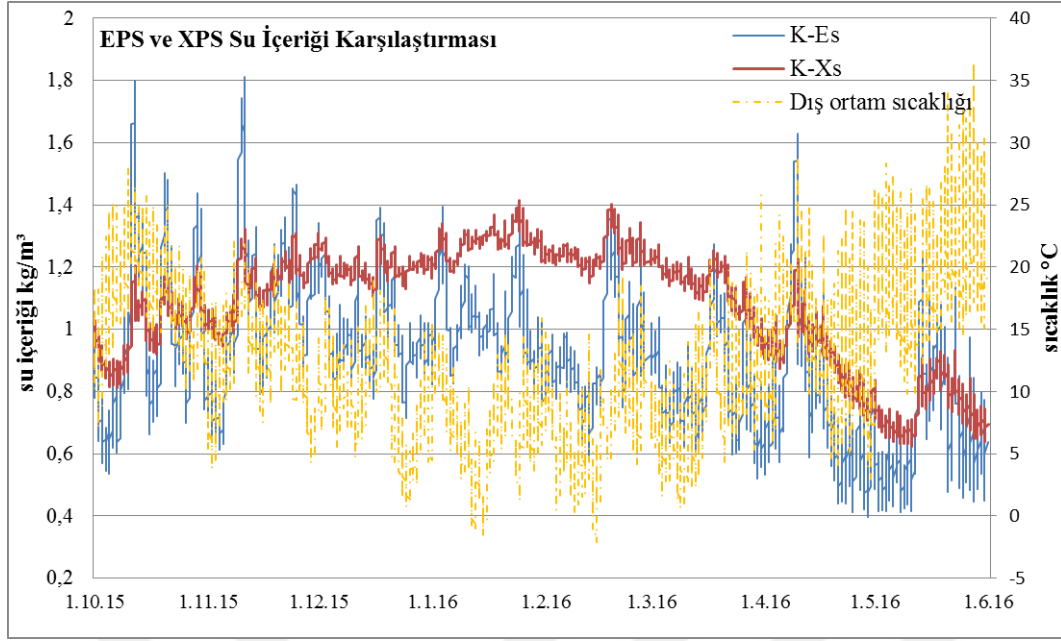
Bu bölümde, dıştan ısı yalıtımı uygulaması yapılan duvarların EPS ve XPS yalıtım malzemesine higrotermal performansları karşılaştırılmaktadır. Grafiklerde, mevcut durumda sıva ve cam mozaik kaplamalı olan dış duvar kesitlerinin üzerine EPS veya XPS yalıtım malzemesinin ve son kat sıva kaplamasının uygulandığı durumlar için yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Çizelge 5.9'da benzetim çalışmasında higrotermal performansı hesaplanıp sonuçları karşılaştırılan ısı yalıtımlı duvar kesitleri görülmektedir.

Çizelge 5.9 : Isı yalıtımı malzemesine göre kontrol kesitleri

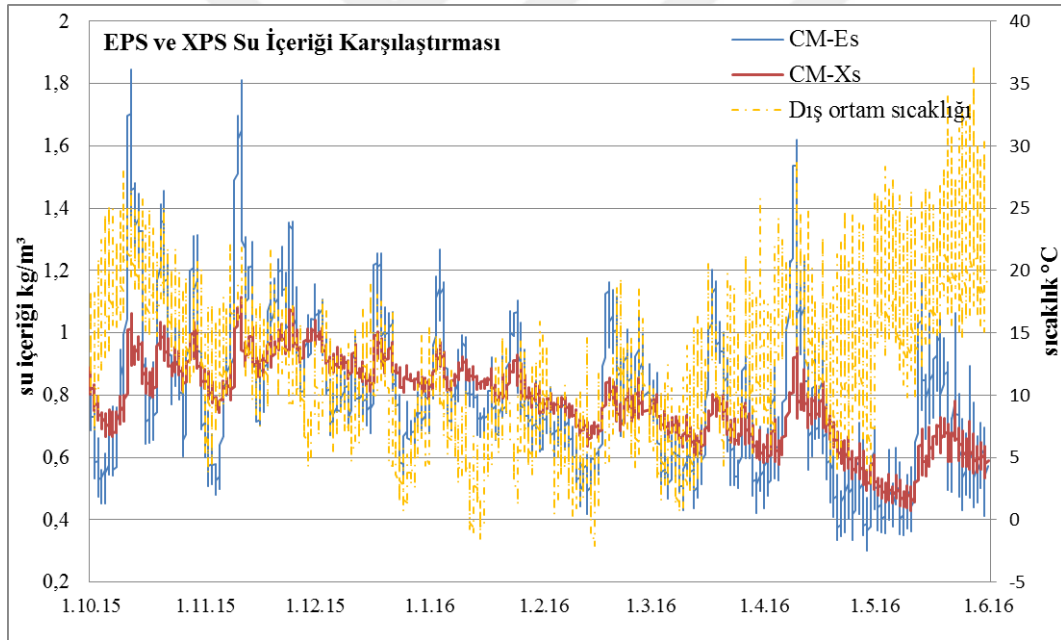
Isı yalıtımı malzemesine göre	Benzetim Hesaplaması - 1 yıl			
Bileşen Kodu	K-Es	K-Xs	CM-Es	CM-Xs
Bileşen Katmanları	mevcut sıva+EPS+ son kat sıva	mevcut sıva+XPS+ son kat sıva	mevcut cam mozaik +EPS+son kat sıva	mevcut cam mozaik +XPS+son kat sıva
Bileşen Kesiti				
Sonuçlar	EPS ve XPS yalıtım katmanlarının performansı (5 nolu bölge)			
	çimento esaslı dış sıva katmanlarının performansı (4 nolu bölge)			

Şekil 5.11'te mevcut durumda sıva kaplamalı olan K-Es, K-Xs ve mevcut durumda cam mozaik kaplamalı olan CM-Es, CM-Xs duvar kesitlerinin EPS ve XPS ısı yalıtım katmanlarının Ekim-Haziran tarihleri arasındaki su içeriği miktarını gösteren grafikler bulunmaktadır. Şekil 5.11.a'daki grafikte görülen sıva üzerine XPS ısı yalıtımı malzemesi uygulanmış olan K-Xs kodlu duvarda, XPS yalıtım malzemesinin su miktarı kış döneminde EPS'ye oranla yükselmektedir. Bu durum, XPS ısı yalıtım malzemesinin su buharı difüzyon direncinin yüksek olması nedeniyle; iç ortamdan gelen nemin dış ortama çıkmasına engel olduğu şeklinde yorumlanabilir. İç ortamdan gelen nemin XPS katmanının iç yüzeyinde birikerek, malzemenin ıslanmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Şekil 5.11.b'deki grafikte; cam mozaik üzerine XPS ısı yalıtım malzemesi uygulanmış olan CM-Xs kodlu duvarda, XPS yalıtım malzemesindeki su içeriğinin EPS yalıtım malzemesine göre daha az iniş çıkış yaptığı görülmektedir. Bu durum, XPS'in yağmur suyundan ve dış ortamdaki nem hareketlerinden daha az etkilenmesiyle açıklanabilir. CM-Es kodlu duvarın EPS yalıtım katmanının su içeriği ise, kısa dönemde daha fazla iniş çıkış yapmaktadır. Bu durum EPS malzemenin yağmurdan etkilenerek çabuk ıslandığı ve sonrasında çabuk kuruduğu şeklinde açıklanabilir.



(a) K-Es ve K-Xs kodlu duvarların ısı yalıtımı katmanındaki su içeriği miktarı



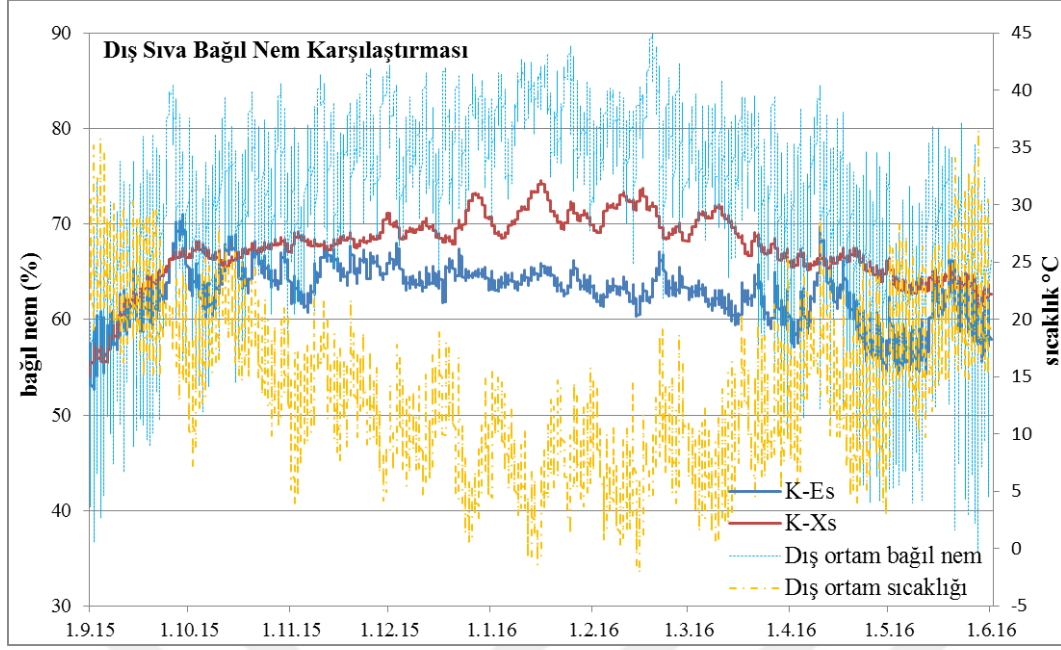
(b) CM-Es ve CM-Xs kodlu duvarların ısı yalıtımı katmanındaki su içeriği miktarı

Şekil 5.11 Dıştan EPS ya da XPS ve son kat sıva uygulaması yapılmış dış duvarların yalıtım katmanlarının su içeriği

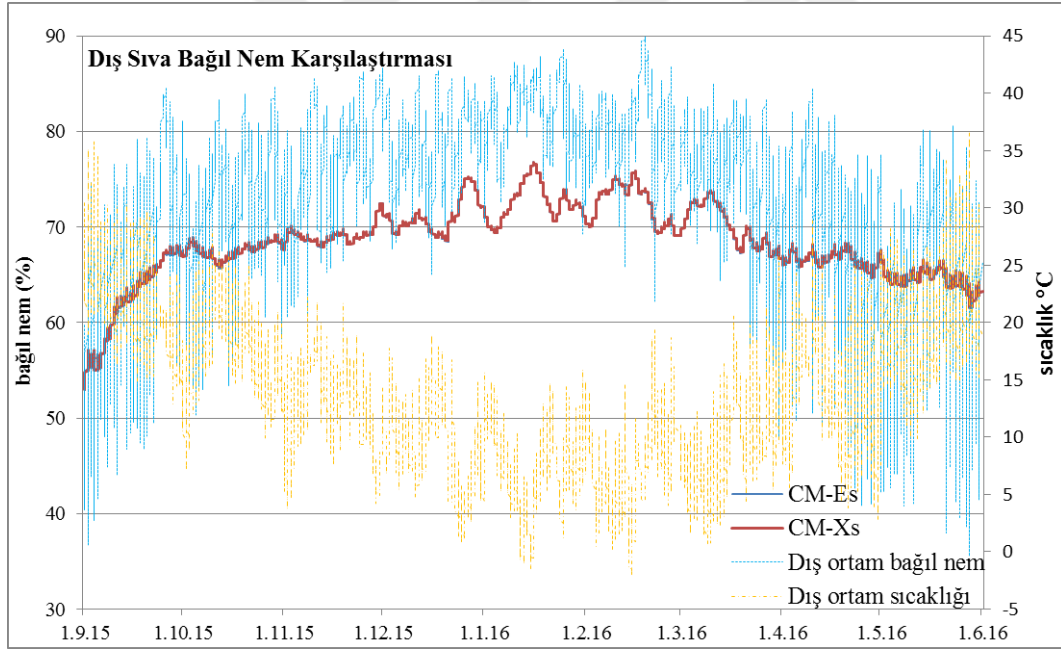
Şekil 5.12’de, mevcut durumda sıva kaplamalı olan K-Es, K-Xs ve mevcut durumda cam mozaik kaplamalı olan CM-Es, CM-Xs duvar kesitlerinin dış sıva katmanlarının Eylül-Haziran tarihleri arasındaki bağıl nem miktarını gösteren grafikler bulunmaktadır. Şekil 5.12.a’daki grafikten anlaşıldığı üzere; XPS ısı yalıtım

levhasının buhar difüzyon direncinin EPS'ye göre 10 kat daha büyük olması, iç ortamdaki nemin dışarıya çıkmasını engellemesine ve XPS'in arkasında ve duvarın iç kısmında bulunan katmanlarda nem oranının artmasına neden olmaktadır. Yani mevcut yüzeyi sıva kaplamalı olan K kontrol duvarına, EPS ile ısı yalıtımı yapıldığında higrotermal performansı daha iyi iken, XPS ile yalıtım yapıldığında yalıtımın arkasındaki sıva katmanının nem oranının havanın 0 °C civarında olduğu kış döneminde %80'e yaklaştığı görülmektedir. Bu nedenle, uzun vadede duvarın dış sıva katmanında yoğunlaşma gerçekleşme riski bulunmaktadır. Diğer yandan, XPS ısı yalıtım malzemesinin ıslanıp ısıl özelliğini yitirmesi beklenebilir.

Şekil 5.12.b'deki grafikte, mevcut yüzeyi cam mozaik kaplamalı olan CM duvarına EPS ile ısı yalıtımı yapıldığı (CM-Es) ve XPS ile ısı yalıtımı yapıldığı (CM-Xs) durumlarda, yalıtımın arkasında kalan dış sıvanın bağıl nem oranının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu durum XPS ısı yalıtım malzemesinin buhar difüzyon direncinin yüksek olmasıyla açıklanmaktadır. EPS uygulaması yapılan CM-Es durumunda, cam mozaik kaplama iç ortamdaki nemin dışarıya çıkmasına engel olmakta ve duvarın iç bölümlerindeki katmanlarda nem artışına neden olmaktadır. Dış ortama doğru hareket eden nem, cam mozaik katmanına takılmakta ve cam mozaikğin arkasında bulunan harç ve dış sıva katmanlarında birikmektedir. Sıcaklığın 0 °C'nin altına kış günlerinde dış sıvadaki nem oranı %80'e yaklaşmaktadır. XPS uygulaması yapılan CM-Xs duvarında, XPS ısı yalıtım malzemesi yüksek buhar difüzyon direnciyle iç ortamdaki buharın dışarıya çıkmasına engel olmakta ve cam mozaik katmanla benzer özellik göstermektedir. Bu durumda, dış ortama doğru kuruyamayan duvarın iç ortama doğru kuruması nedeniyle, iç ortamdaki nem oranının artması beklenebilir.



(a) K-Es ve K-Xs kodlu duvarların dış dıva katmanındaki bağıl nem miktarı



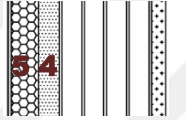
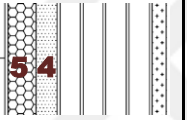
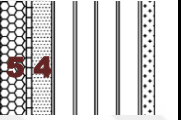
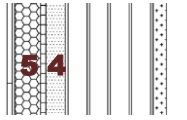
(b) CM-Es ve CM-Xs kodlu duvarların dış dıva katmanındaki bağıl nem miktarı

Şekil 5.12 Dıştan EPS ya da XPS ve son kat sıva uygulaması yapılmış dış duvarların dış sıva katmanlarının bağıl nemi

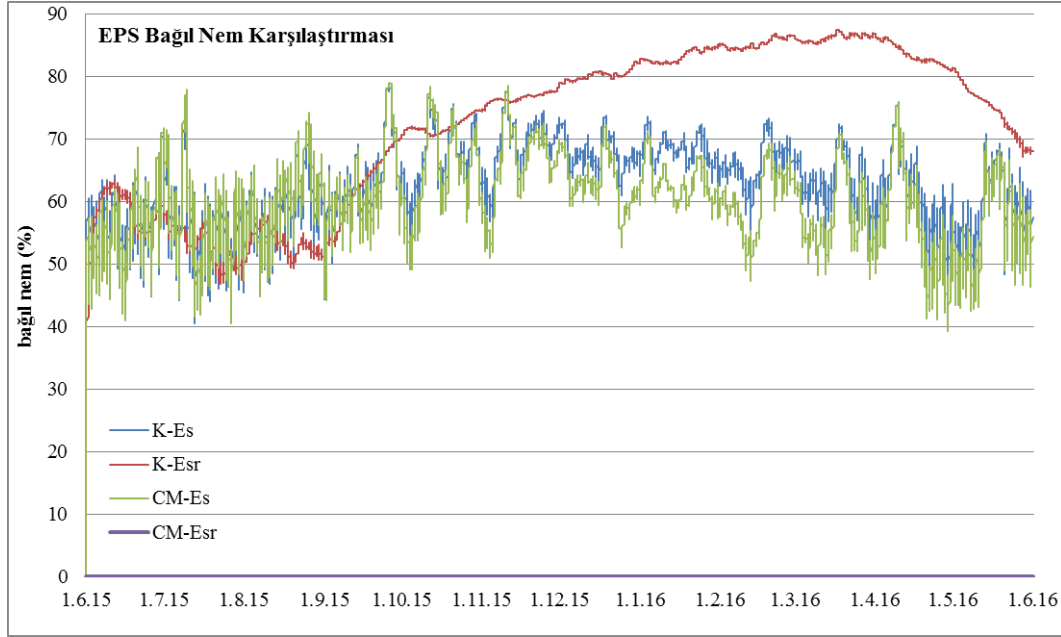
5.8.4 Son kat kaplama malzemesine göre higrotermal performans

Bu bölümde, dıştan ısı yalıtımı uygulaması yapılan duvarların son kat sıva veya seramik kaplama malzemelerine göre higrotermal performansları karşılaştırılmaktadır. Grafiklerde, mevcut durumda sıva veya cam mozaik kaplamalı olan dış duvar kesitlerinin üzerine EPS veya XPS yalıtım malzemesi ile son kat sıva veya seramik kaplama uygulandığı durumlar için yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Çizelge 5.10’da benzetim çalışmasında higrotermal performansı hesaplanıp sonuçları karşılaştırılan ısı yalıtımlı duvar kesitleri görülmektedir.

Çizelge 5.10 : Son kat kaplama malzemesine göre kontrol kesitleri

kaplama malzemesine göre	Benzetim Hesaplaması - 1 yıl			
Bileşen Kodu	K-Es	K-Esr	CM-Es	CM-Esr
Bileşen Katmanları	mevcut sıva+EPS+ son kat sıva	mevcut sıva+EPS+ son kat seramik	mevcut cam mozaik +EPS+son kat sıva	mevcut cam mozaik +EPS+son kat seramik
Bileşen Kesiti				
Sonuçlar	EPS yalıtım katmanlarının performansı (5 nolu bölge)			
	çimento esaslı dış sıva katmanlarının performansı (4 nolu bölge)			

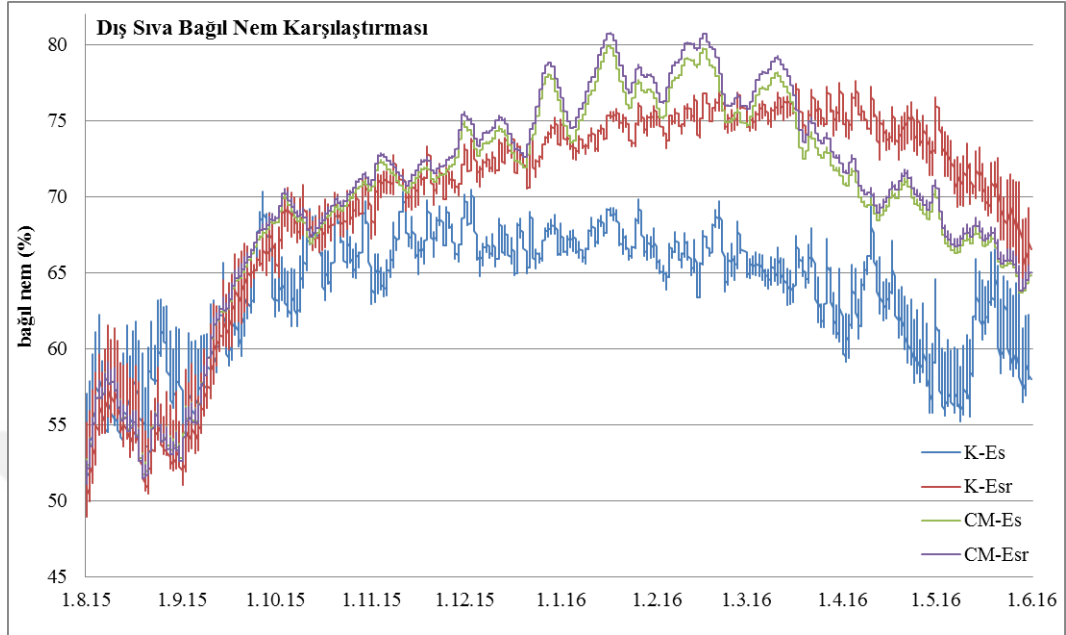
Şekil 5.13’te; mevcut durumda sıva kaplamalı olan K-Es ve K-Esr ile mevcut durumda cam mozaik kaplamalı olan CM-Es ve CM-Esr duvarlarının EPS ısı yalıtımı katmanlarının bir yıl boyunca bağıl nem miktarındaki değişimleri gösteren bir grafik bulunmaktadır. Bu durumda görülen en yüksek değerler, EPS ısı yalıtımı katmanının üzerine seramik kaplama uygulanmış olan K-Esr kodlu duvarın EPS katmanına aittir. Bunun nedeni iç ortamdan gelen nemin, son kat seramik kaplama nedeniyle dış ortama çıkamaması ve EPS katmanında birikmesidir. Diğer yandan, CM-Esr duvarında mevcut cam mozaik duvar kaplamasıyla son kat seramik kaplama arasında kalan EPS katmanının bağıl nemi yıl boyunca 0 olarak görülmektedir. Bunun nedeni, hesaplamalar sırasında kaplama malzemelerinin derz boşluklarının, olası çatlamaların ve yalıtım malzemesinin yapıştırılmasından kaynaklanan başlangıç nemliliğinin ihmal edilmesidir. Bu kabullerin yapılmadığı durumda çok daha farklı sonuçlar ortaya çıkacaktır.



Şekil 5.13 Dıştan EPS ve son kat sıva ya da seramik kaplama uygulaması yapılmış dış duvarların EPS katmanlarının bağıl nemi

Şekil 5.14'te; mevcut durumda sıva kaplamalı olan K-Es ve K-Esr ile mevcut durumda cam mozaik kaplamalı olan CM-Es ve CM-Esr duvarlarının dış sıva katmanlarındaki bağıl nem oranlarının Ağustos-Haziran tarihleri arasındaki değişimlerini gösteren bir grafik bulunmaktadır. EPS üzerine son kat seramik kaplama uygulaması yapılmış olan CM-Esr duvarının, son kat sıva kaplamalı CM-Es duvarına göre dış sıva katmanının bağıl nem oranı az bir miktar daha düşüktür ve artma azalma periyotları aynıdır. Son kat sıva uygulaması yapılmış olan CM-Es kodlu duvarda cam mozaik kaplama, iç ortamdaki nemin dışarıya çıkmasını engelleyerek dış sıva katmanında birikmesine neden olmaktadır. Cam mozaik kaplama üzerine EPS ve son kat seramik uygulaması yapıldığında (CM-Esr) ise dış duvarın gösterdiği davranış CM-Es duvarıyla aynı olmakla beraber, buhar difüzyon direnci bir miktar daha artmıştır. Son kat seramik kaplamalı K-Esr duvarının, son kat sıva kaplamalı K-Es duvarına göre dış sıva katmanının bağıl nemi çok daha yüksektir. Bu katmandaki bağıl nem artışı kış dönemi boyunca devam etmekte ve Mart ayında en yüksek değerine ulaşmaktadır. Nisan ayından itibaren K-Esr duvarının dış sıva katmanının bağıl nemi, grafikteki tüm duvar alternatifleri arasında en yüksek değerleri göstermektedir. Bu durum, K-Esr duvarında bulunan son kat seramik kaplamanın, iç ortamdan gelen nemin dışarıya çıkmasını önleyerek seramik kaplama arkasında bulunan ısı yalıtımı ve dış sıva katmanlarında birikmesine neden

olduğu şeklinde açıklanabilir. Bu alanda meydana gelen nem artışının, ısı yalıtım malzemesinin ısıl performansını kaybetmesine ve duvar kesitinde yoğuşma gerçekleşmesine neden olacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 5.14 Dıştan EPS ve son kat sıva ya da seramik kaplama uygulaması yapılmış dış duvarların dış sıva katmanlarının bağlı nemi

5.9 Sonuçların Tartışılması

Bu bölümde, öncelikle alan çalışmasında gözlemlenen ısı yalıtım uygulamalarıyla ilgili değerlendirme yapılmıştır. İkinci olarak benzetim çalışmasından elde edilen sonuçlar; duvar kesitlerinin mevcut durumlarına, dıştan ısı yalıtımı sırasında kullanılan yalıtım malzemesine göre ve uygulama sonrası kullanılan son kat kaplama malzemesine göre değerlendirilerek yorumlanmıştır. Son olarak, elde edilen sonuçlar üzerinden genel bir değerlendirme yapılarak dıştan ısı yalıtımı uygulamalarının etkin higrotermal performans göstermesini sağlamaya yönelik ve benzetim araçlarının kullanımına yönelik önerilere yer verilmiştir.

5.9.1 Alan çalışmasının tartışılması

Öncelikle İstanbul Çapa bölgesinde yapılan alan çalışmasında gözlemlenen mevcut binaların dış duvarlarında dıştan ısı yalıtımı uygulamalarıyla ilgili tespitler tartışılmaktadır.

Mevcut durumla ilgili tespitler:

- Alan çalışmasında gözlemlenen binaların mevcut dış duvar yüzeyinde sıva, seramik, cam mozaik ve mermer kaplamalar bulunduğu görülmüştür.
- Dıştan ısı yalıtımı uygulaması yapılan yüzeylerdeki mevcut cam mozaik kaplamalarda yüzey bozuklukları, çatlaklar, malzeme kaybı gibi hasarlar görülmüştür. Cam mozaik kaplamaların yıllar içinde yaz kış dönemlerinde gerçekleşen donma-çözünme olaylarının ve sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan genleşme olaylarının etkisiyle hasara uğradığı tahmin edilmiştir.

Isı yalıtımında kullanılan malzemelerle ilgili tespitler:

- Alanda ağırlıklı olarak EPS ve XPS yalıtım malzemelerinin kullanıldığı görülmüştür. XPS malzemesi daha çok pencere kenarlarındaki duvarlara uygulanmaktadır.
- Uygulamada kullanılan yalıtım malzemelerinin kalınlığının gelişigüzel seçildiği ve bütün binalarda benzer kalınlık ve özelliklerde yalıtım malzemesi kullanıldığı gözlenmiştir. Bu durum TS 825 standardında belirtilen ısı yalıtım ihtiyacı hesaplama ölçütleriyle uyuşmamaktadır.
- ETICS standartlarına uygun olarak, duruma özel malzeme seçimi yapılmamıştır. Uygulanan malzemeler belirlenirken, tüm katmanların birbiriyle ilişkisi ve higrotermal performans göz ardı edilmiştir.
- Kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin yoğunluk değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. Bu durum ısı yalıtım performansı ile birlikte, ETAG 004 rehberinin denetlediği ölçütlerden biri olan mekanik dayanım ve stabiliteyi de olumsuz etkilemektedir.
- Stoklama sırasında kırılan, deformasyona ve bozulmalara uğrayan yalıtım malzemelerinin kullanıldığı görülmüştür.

Isı yalıtımı uygulamalarıyla ilgili tespitler:

- Uygulama yapılan yüzeylerin temizlenip düzeltilmediği görülmüştür
- Mevcut kaplama malzemelerinin çoğunlukla sökülmeden ısı yalıtımı yapıldığı görülmüştür.

- Yalıtım levhalarının tespit edilmesinde kullanılan yapıştırıcıların duvar yüzeyine gelişigüzel uygulandığı, dübel sayısının çok az olduğu ve belli bir düzene göre uygulanmadığı görülmüştür
- Isı yalıtım levhalarının küçük parçalara bölünerek uygulandığı ve levhalar arasında geniş derzler ve boşluklar bırakıldığı görülmüştür. Bu durumun ısı köprülerine, su ve hava sızıntılarına neden olarak duvarın higrotermal performansını olumsuz etkileme ve yalıtım uygulamasının kullanım ömrünü kısaltma riski vardır. Ayrıca dış yüzeylerde lekelenme gibi problemlerin ortaya çıkacağı tahmin edilmektedir.
- Bazı binalarda, üst katlarda ısı yalıtımı uygulaması yapılmasına rağmen zemin katlarda yapılmadığı görülmüştür.

Bir sonraki bölümde, alan çalışmasında gözlemlenen mevcut duvar yüzeylerine dayanarak modellenen dış duvarlar kesitlerinin ısı yalıtımı uygulaması öncesi ve sonrası higrotermal performansına yönelik hesaplamalardan elde edilen sonuçlar tartışılmaktadır.

5.9.2 Benzetim çalışması sonuçlarının tartışılması

Bu bölümde, duvarların mevcut durumlarına göre yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar ve ısı yalıtımı uygulaması sonrası yapılan değerlendirmelere göre elde edilen sonuçlar tartışılmaktadır. Yapılan tartışmalar, benzetim çalışması kapsamında belirlenen kabullere dayanmaktadır.

Mevcut dış duvar kesitlerinin higrotermal performansının benzetimle hesaplanmasından elde edilen sonuçlar:

- Seramik, cam mozaik ve mermer kaplamalı mevcut duvarların dış sıvalarındaki su içeriği ve bağıl nem miktarının kış döneminde sıva kaplamalı duvara göre çok daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca sıva kaplamalı duvarların dış sıvalarının su içeriği ve bağıl neminde yıl boyunca kısa dönemde çok fazla iniş çıkış olurken, yaz-kış dönemi arasında fazla farklılık yoktur. Seramik, cam mozaik ve mermer kaplamalı duvarlarda ise, kısa dönemde küçük farklılıklar ve yaz-kış dönemleri arasında çok yüksek farklılıklar olmuştur. Bu durumda, sıvalı duvarda dış sıvanın rüzgarla itilen yağmur suyu gibi dış etmenlerden etkilenerak ıslandığı ve dış ortama doğru

kuruduğu anlaşılmaktadır. Seramik, cam mozaik ve mermer kaplamalı duvarlarda ise, iç ortam neminin kış döneminde dış ortama çıkamayarak bu bölümlerde biriktiği ve yaz döneminde duvar bünyesine ve dış ortama doğru kuruduğu sonucuna varılmıştır.

- Seramik ve cam mozaik kaplamalı duvarlar benzetim aracına girilen yoğunluk, gözeneklilik ve su buhar difüzyonu gibi teknik özelliklerinin çok benzer olması nedeniyle, içyapıları farklı olsa da aynı sonuçları vermiştir. Mermer kaplamalı duvarda ise, mermerin gözenekliliğinin çok az daha fazla ve su buharı difüzyon direncinin daha düşük olması nedeniyle sonuçlarda çok az da olsa farklılıklar görölmüştür. Bu nedenle hesaplamalarda cam mozaik üzerinde durulmuştur.
- Bütün duvarlarda katmanları oluşturan malzemelerin su içeriği miktarı, malzemenin gözenekliliğiyle orantılı olarak; tuğlada daha fazla ve dış sıvada daha azdır. Bağlı nem miktarı ise iki katmanda yaklaşık aynı miktarlardadır. Ayrıca tüm duvarlarda, duvarı oluşturan iç katmanlara doğru su içeriği ve bağlı nem miktarları düşmektedir. Bu durumda, seramik, cam mozaik ve mermer kaplamalı duvarlarda kaplamanın arkasında kalan harç bölümünde kış döneminde yoğunlaşma oluşmaktadır. Ayrıca kış döneminde hava sıcaklıklarının düşmesiyle, bu bölümde yoğunlaşan suda donma ve çözünme hareketleri olması beklenmektedir. Bunun sonucunda ise, seramik ve cam mozaik kaplamalarda çatlama, derz kaybı gibi hasarların oluşma riski bulunmaktadır. Ayrıca bu duvarlarda yüksek nemlilik oranlarına bağlı yapısal hasar ve küflenme riski bulunmaktadır.
- Bütün duvarların iç sıva katmanındaki su içeriği ve bağlı nem oranları, daha dış katmanlara göre azalmıştır. Sıcaklık değerlerine bakıldığında ise; sıvalı duvarın iç sıvasının, kış döneminde çok az bir miktar daha yüksek yaz döneminde ise çok az bir miktar daha düşük olduğu görölmüştür. Bu durum; seramik, cam mozaik ve mermer kaplamaların ısı iletkenliği ve kalınlığıyla ilgili olduğu düşünölmüştür. Isı iletkenliği daha düşük bir mermerle yapılan denemelerde aradaki farkın arttığı görölmüştür.

Dıştan ısı yalıtımı yapılan yüzeylere göre higrotermal performansının benzetimle hesaplanması sonuçları:

- Bu durumda, bütün duvar alternatiflerinin katmanlarındaki bağıl nem ve su içeriği miktarının, mevcut duruma oranla düştüğü görülmektedir.
- EPS yalıtım malzemesi ve son kat sıva uygulamasının mevcut sıva kaplaması üzerine yapıldığı durumda, duvarı oluşturan bütün katmanların su içeriği ve bağıl nem miktarlarının yıl boyunca benzer benzer performans gösterdiği görülmüştür. Bu durumdan, dış hava koşullarının ve iç ortam nemliliğinin etkisiyle ıslanan duvar katmanlarının dış ve iç ortama doğru kuruduğu sonucu çıkarılmıştır.
- EPS yalıtım malzemesi ve son kat sıva uygulamasının mevcut cam mozaik kaplamasının üzerine yapıldığı durumda ise cam mozaik arkasındaki harçta ve tuğla duvar tabakalarında biriken nem, mevcut duruma göre azalsa da sıva üzeri uygulamaya göre çok daha fazladır. Ayrıca, bu şekilde yalıtılmış duvarın iç ortama doğru kuruyacağı ve iç ortamdaki nemlilik oranını mevcut duruma göre yükselteceği düşünülmektedir.

İkinci olarak, ısı yalıtımı malzemelerine göre higrotermal performansının benzetimle hesaplanmasının sonuçlarından bahsedilmiştir:

- Sıva üzerine XPS ısı yalıtım malzemesi uygulaması yapıldığında kış döneminde yalıtım malzemesi ıslandığı görülmüştür ve malzeme bünyesinde yoğunlaşma riski ile sıcaklığın kritik derecelere düşmesi durumunda donma riski bulunmaktadır.
- Mevcut yüzeyinde cam mozaik kaplama bulunan dış duvarın üzerine EPS ya da XPS yalıtım malzemesi uygulandığında dış sıvanın ve daha içteki katmanların bağıl nem oranı değiştirmiştir. Ancak, mevcut yüzeyinde sıva kaplama bulunan duvarın üzerine XPS yalıtım malzemesi uygulandığında dış sıvada ve daha içteki katmanlarda bağıl nem oranının arttığı görülmüştür. Bu durum, XPS yalıtım malzemesinin buhar difüzyon direncinin yüksek olmasından ve iç ortam nemliliğinin dışarıya çıkmasına engel olmasından kaynaklanmaktadır.

Üçüncü olarak, son kat kaplama malzemelerine göre higrotermal performansının benzetimle hesaplanmasının sonuçlarından bahsedilmiştir:

- Mevcut duvar yüzeyinde sıva kaplaması bulunan duvarla, mevcut duvar yüzeyinde cam mozaik kaplama bulunan duvarların dıştan ısı yalıtımı

uygulaması yapıldığı durumlar için sadece son kat kaplama malzemesi sıva ve seramik olarak değiştirilip, yalıtım malzemesinin bağıl nem oranı karşılaştırılmıştır. En olumsuz sonuç, mevcut duvar yüzeyinde sıva bulunan duvar üzerine yalıtım ve son kat seramik kaplama uygulandığı durumdan elde edilmiştir. Bu durumda, yalıtım malzemesine kadar ulaşan iç ortam neminin dışarı çıkmasına seramik kaplamanın engel olduğu görülmüştür. Bağıl nem oranı gittikçe yükselen ısı yalıtım malzemesinin ısıl geçirgenliği yükselecek ve duvara tutunma mukavemeti düşecektir.

- Mevcut duvar yüzeyinde sıva kaplama bulunan duvar üzerine yalıtım ve son kat seramik kaplama uygulandığı durumda mevcut sıva kaplamanın ve daha içteki katmanların bağıl neminin de aynı şekilde yükseldiği görülmüştür. Bu durum duvar bünyesinde nem kaynaklı sorunlara neden olabilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde alan çalışmasından ve benzetim çalışmasından elde edilen sonuçlar anlatılmakta ve önerilere yer verilmektedir. Çapa bölgesinde yapılan alan çalışmasının değerlendirilmesinde, yerinde gözlemlene ve uygulayıcılarla yapılan birebir görüşme sonuçlarından yararlanılmaktadır. Benzetim çalışmasının değerlendirilmesinde ise, WUFI 2D 3.3 benzetim aracında modellenen duvar kesitlerinin hesaplama sonuçlarından yapılan çıkarımlar kullanılmaktadır.

Öncelikle ısı yalıtımı uygulamalarının yapıldığı alandaki mevcut durum incelendiğinde, binaların dış duvarlarında cam mozaik, seramik, mermer veya sıva üzeri boya olmak üzere dört farklı kaplama tipi görülmüştür. Isı ve neme karşı herhangi bir koruma içermeyen bu bina cephelerinin ısı yalıtımı yapılarak iyileştirilmesi enerji korunumu, yakıt tasarrufu ve iç ortam konforu açısından olumlu bir durumdur. Ancak yıllar içinde dış yüzeylerinde çatlama, aşınma, malzeme kaybı ve kirlenme gibi deformasyonların gerçekleştiği görülen bina dış duvar yüzeylerinin ısı yalıtımından önce iyileştirilmediği dikkat çekmiştir. Gözlemlenen ısı yalıtım uygulamalarının bir kısmı, ilk bölümde tarif edilen dıştan ısı yalıtımlı ve sıvalı kompozit sistemler (ETICS) gibi bir alt katman, ısı yalıtım katmanı, donatılı bir üst katman ve son kat kaplama malzemesinden oluşmaktadır. Ancak bu katmanlar ETICS standardında bahsedildiği gibi sisteme özel olarak seçilmiş değil; gelişigüzel seçilerek farklı tiplerdeki dış duvarlara uygulanan sistemlerdir. Özellikle, cam mozaik, seramik ve mermer gibi su geçirimsiz yüzeylere herhangi bir işlem yapılmadan, direkt uygulama yapılıyor olması göze çarpmaktadır. Tüm bu olumsuz durumların yanında, uygulama sırasında kullanılan küçük boyutlardaki yalıtım malzemeleri ve zayıf tespit sistemlerinin ısı köprülerine ve higrotermal performans sorunlarına neden olma riskinin bulunduğu görülmektedir.

Bu gözlemlerin ardından yapılan görüşmeler sonucunda, alandaki ısı yalıtım uygulamalarının büyük bir çoğunluğunun yeterliliği olmayan kişilerce herhangi bir

yönetmelik, standart ya da rehber uymaksızın yapıldığı anlaşılmıştır. Alan çalışmasında tespit edilen tüm bu yetersizlikler üç başlıkta özetlenmektedir:

- i. Teknik donanım/uygulama yetersizliği: Binanın konumu, yönlenmesi, cephe saydamlık oranı, kullanım amacı, güneş ışığı alıp almıyor oluşu, dış duvar katmanlaşması gibi özelliklerine göre hazırlanan ve ısı yalıtımı uygulaması için kullanılacak malzemeleri ve kullanma tekniğini belirleyen bir proje desteği bulunmamaktadır. Firmalarda, yapılan uygulamaların projeye ve teknik şartnameye uygunluğunu kontrol edecek kalifiye elemanlar çalıştırılmamaktadır. Alanda gözlemlenen ısı yalıtım uygulamaları genel olarak, bina sahibi veya yöneticinin piyasadan almış olduğu en ekonomik teklifi veren firma ya da kişiler tarafından yapılmaktadır.
- ii. Malzeme yetersizliği: Isı yalıtımı uygulaması için bir proje hazırlanmadığından, malzeme seçimini genellikle teklifi veren yüklenici yapmaktadır. Yüklenici, bina sahibi ya da kullanıcıları tarafından binanın görseelliğini belirleyen kaplama malzemeleri özelliklerine bakılmaksızın gelişigüzel bir şekilde seçilmektedir. Yüklenici, herhangi bir teknik desteği olmadığından, yetersiz malzeme kullanarak gerekli standartları sağlayamamaktadır.
- iii. Denetim yetersizliği: Isı yalıtımı uygulamalarının doğru ve etkin yapıp yapılmadığını kontrol eden bir denetleme mekanizmasının olmaması bu tür uygulamaların sayısının giderek artmasına neden olmaktadır.

Benzetim çalışmasında yapılan higrotermal performans değerlendirmelerinde, mevcut durumda geçirimsiz kaplamaya sahip olan duvarlarda yüksek miktarlarda iç ortam nemi birikmesi sonucunda sıcaklık değişimlerine bağlı olarak donma-çözünme, yoğunlaşma ve küflenme gibi sorunların ve bu sorunlara bağlı hasarların oluşabileceği belirlenmiştir. Yalıtım uygulaması sonrasında, duvar bünyesindeki nem oranının azaldığı görülse de yine de buhar geçirimine izin veren bir duvara göre çok daha yüksektir. Ayrıca böyle bir duvar iç ortama doğru kuruyacağı için, duvar bünyesinde sorun oluşmasının yanı sıra iç ortam konfor koşulları da bu durumdan olumsuz etkilenecektir.

Isı yalıtım malzemelerine göre değerlendirme yapıldığında, XPS ısı yalıtım malzemesinin buhar difüzyon direncinin EPS'ye göre çok daha yüksek olması

nedeniyle bina cephesindeki geçirimsiz kaplamalarla aynı sonucu verdiği görülmüştür. Mevcut durumda sıva kaplamalı olan K kontrol duvarına, EPS ısı yalıtım malzemesi ve son kat sıva kaplama uygulandığında duvar bünyesinde nem birikimi olmazken; XPS ısı yalıtım malzemesi ve son kat sıva uygulaması yapıldığında yalıtım malzemesinin arkasında ve duvarın iç katmanlarında nem oranı yükselmektedir. Bu durum yalıtım malzemesinin ıslanarak ısıl performansını kaybetmesine ve duvardan ayrışmasına neden olabilir. Ayrıca cam mozaik, seramik ve mermer gibi geçirimsiz kaplamalar üzerine ısı yalıtım malzemesi uygulandığında, geçirimsiz kaplamanın dış yüzeyinde ve yalıtım malzemesinin bünyesinde su birikimi meydana gelmektedir. Mevcut kaplamada bulunan çatlaklarda gerçekleşen hava ve su sızıntıları nedeniyle, ısı yalıtım malzemesinin duvardan ayrılma riski ortaya çıkar. Mevcut durumda sıva kaplamalı olan K kontrol duvarında, ısı yalıtımı uygulaması sonrası son kat kaplama malzemesi olarak seramik gibi geçirimsiz bir malzemenin kullanılması durumunda iç ortam neminin ısı yalıtım malzemesinde birikmesi ve uzun dönemde ısı yalıtım malzemesinin ısıl özelliğini kaybetmesi söz konusudur.

Sonuç olarak, alanda gözlemlenen ısı yalıtım uygulamaları ilk bakışta ekonomik gibi görünse de uzun vadede çevresel yararlılık, ısı korunum değeri ve ekonomik faydalar açısından istenilen performansı göstermemektedir. Bu nedenle, ısı yalıtımı uygulamalarının uzmanlar tarafından yapılması, binaların özelliklerine ve dış duvarlarını oluşturan katmanların bütününe göre çözüm üretilmesi ve standartlardaki gerekliliklerin yerine getirilmesi gerekmektedir. Özellikle geçirimsiz kaplamalar üzerine yapılan ısı yalıtım uygulamalarının higrotermal performans üzerindeki etkisi de düşünülmesi gereken önemli bir konudur. Isı ve nem, bina dış duvarlarının performansı üzerinde birbirinden ayrı düşünülemez iki önemli ölçüttür. Katmanların bütüncül bir yaklaşımla ele alınarak, ısıl ve nemsel açıdan nasıl davrandıklarının değerlendirilmesi gerekmektedir. Higrotermal performansın hesaplanmasında kullanılan benzetim araçları, doğru ve etkin kullanılmak şartıyla, pratikte yapılan iyileştirme uygulamalarının değerlendirilmesinde kullanılabilir. Benzetim alanında yapılan araştırmalarla ve yazılımların güncellenerek eksikliklerinin giderilmesiyle, daha karmaşık modeller üzerinde çalışılabileceği ve daha etkin sonuçların alınabileceği düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Altınışık, K. (2006). *Isı Yalıtımı*. İstanbul: Nobel.
- Altun, C. (1997). Buhar difüzyonunun dış duvarların nem ile ilgili ve ısı performansına etkilerinin değeriendirilmesinde kullanılabilircek bir yaklaşım. *Doktora Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Amaro, B., de Brito, J., & Flores Colen, I. (2013). Inspection and Diagnosis System of ETICS on Walls. *Construction and Building Materials*.
- Arena, L., & Mantha, P. (2013). *Moisture Research -Optimizing Wall Assemblies*. U.S. Department of Energy.
- BEP. (2008). Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğı. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- Bomberg, M. T., & Shirliffe, C. J. (2014). A Conceptual System of Moisture Performance Analysis. H. R. Trechsel, & M. T. Bomberg içinde, *Moisture Control in Buildings : The Key Factor in Mold Prevention*. ASTM International.
- Brock, L. (2005). *Designing The Exterior Wall*. New Jersey: Wiley Press.
- BS EN 15026. (2007). *Hygrothermal Performance of Building Components and Building Elements — Assessment of Moisture Transfer by Numerical Simulation*. BSI - British Standards.
- BS EN ISO 10456. (2007). Building materials and products — Hygrothermal properties - Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values. British Standards.
- CPD. (2003). The Construction Products Directive. Council Directive 93/68/EEC.
- Delgado, J. M., Barreira, E., Ramos, N. M., & de Freitas, V. P. (2013). *Hygrothermal Numerical Simulation Tools Applied to Building Physics*. Springer.
- DIN 4108 . (2011). *Thermal insulation and energy economy in buildings - Part 7: Air tightness of buildings - Requirements, recommendations and examples for planning and performance*. Beuth.

- Edis, E., & Kuş, H. (2014). Bina Kabuğunun Nemsel-Isıl Performansının Bilgisayar Benzetimi İle Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 29, No 2, 311-320.
- ETAG 004. (2013). *Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with Rendering*. Brussels: EOTA.
- Fedorik, F., & Illikainen, K. (2013). HAM and Mould Growth Analysis of a Wooden Wall. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 19-26.
- Ge, H., Yang, X., Fazio, P., & Rao, J. (2014). . Influence of Moisture Load Profiles on Moisture Buffering Potential and Moisture Residuals of Three Groups of Hygroscopic Materials. *Building and Environment* 81, 162-171.
- Gönül, İ. A., & Çelebi, G. (2003). Binalarda Zeminden Kaynaklanan Nemlenmeyi Önleme Yöntemleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt 18*, 109-122.
- Holm, A., & Künz, H. (2003). Two-Dimensional Transient Heat and Moisture Simulations of Rising Damp with WUFI 2D. *2nd International Conference on Building Physics*. Belgium.
- İlgaz, T. (1979). *Dış Duvarlarda Isı Korunumu*.
- Johansson, P., Geving, S., Hagetoft, C. E., Jelle, B. P., Rognvik, E., Kalagasidis, A. S., et al. (2014). Interior Insulation Retrofit of a Historical Brick Wall Using Vacuum Insulation Panels: Hygrothermal Numerical Simulations And Laboratory Investigations. *Building and Environment* 79, 31-45.
- Kalamees, T., & Vinha, J. (2003). Hygrothermal Calculations and Laboratory Tests on Timber-framed Wall Structures. *Building and Environment* 38 , 689-697.
- Karagiozis, A., Künz, H., & Holm, A. (2001). WUFI-ORNL/IBP—A North American Hygrothermal Model. *Buildings VIII Proceedings*.
- Kumaran, M., Mitalas, G., & Bomberg, M. (1994). Fundamentals of Transport and Storage of Moisture in Building Materials and Components. H. Trechsel içinde, *Moisture Control in Buildings*. ASTM.
- Künz, H. M. (1995). *Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components - One- and two-dimensional calculation using simple parameters*. IRB Verlag.

- Liismaa, E., Lõhmus, G., & Raado, L.-M. (2015). The effect of temperature and humidity on the permanence of external thermal insulation composite systems. *Procedia Engineering* 108, 340 – 348 .
- Nizovtsev, M., Belyi, V., & Sterlygov, A. (2014). The Facade System with Ventilated Channels for Thermal Insulation of Newly Constructed and Renovated Buildings. *Energy and Buildings* 75, 60-69.
- Pfundstein, M., Gellert, R., Spitzner, M., & Rudolphi, A. (2007). *Insulation Materials - Principles, Materials, Application*. Munich: Detail.
- Richarz, C., & Schulz, C. (2013). *Energy efficiency refurbishments*. DETAIL.
- Sandberg, P. (2009). Effects of Moisture on the Thermal Performance of Insulating Materials. H. Trechsel, & M. Bomberg içinde, *Moisture Kontrol in Buildings : The Key Factor in Mold Prevention*. ASTM International.
- Sedlbauer, K., & Künzle, H. M. (2007). Frost Damage of Masonry Walls – A Hygrothermal Analysis by Computer Simulations. *Thermal Envelope and Building Science Vol. 23*, 277-281.
- Silva, P., Almeida, M., Bragança, L., & Mesquita, V. (2013). Development of Prefabricated Retrofit Module Towards Nearly Zero Energy Buildings. *Energy and Buildings* 56, 115-125.
- Straube, J., & Schumacher, C. (2006). Assessing the Durability Impacts of Energy Efficient Enclosure Upgrades Using Hygrothermal Modeling. *Building Science Press*, (s. Conference Paper - 0605).
- Straube, J., & Schumacher, C. (2006). Assessing the Durability Impacts of Energy Efficient Enclosure Upgrades Using Hygrothermal Modeling, Building Science Press, Conference Paper – 0605. *WTA Journal* 2.
- Şenkal Sezer, F. (2005). Türkiye'de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt 10, Sayı 2*.
- Teasdale-St-Hilaire, A., & Derome, D. (2007). Comparison of Experimental and Numerical Results of Wood-Frame Wall Assemblies Wetted by Simulated Wind-Driven Raininfiltration. *Energy and Buildings* 39, 1131–1139.
- TenWolde, A., & Bomberg, M. T. (2009). Design Tools. H. R. Trechsel, & M. T. Bomberg içinde, *Moisture Control in Buildings : The Key Factor in Mold Prevention 2nd Edition*. ASTM International.

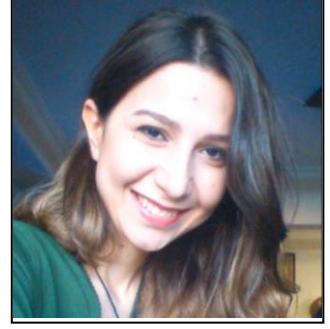
- Torres, I., & de Freitas, V. (2010). Influence of the Thickness of the Walls and Their Properties on the Treatment of Rising Damp in Historic Buildings. *Construction and Building Materials* 24, 1331-1339.
- Torres, M., & de Freitas, V. (2007). Treatment of Rising Damp in Historical Buildings: Wall Base Ventilation. *Building and Environment* 42, 424-435.
- Trechsel, H. (2003). *ASTM MNL 40 Moisture Analysis and Condensation Control in Building Envelopes*. Washington: ASTM International.
- Trechsel, H. R., & Bomberg, M. T. (2009). *Moisture Control in Buildings : The Key Factor in Mold Prevention 2nd Edition*. Baltimore: ASTM International.
- TS 825. (2013). *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12086. (2013). *Isı yalıtım mamulleri - Binalar için - Su buharı iletim özelliklerinin tayini*. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12087. (tarih yok). *Binalar için ısı yalıtım malzemeleri - Daldırma yöntemiyle uzun dönem su emme tayini*. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 13163+A1. (Nisan 2015). *Isıyalıtım mamulleri - Binalar için - Genleştirilmiş polistiren (EPS) fabrikasyon mamuller - Özellikler*. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 13164+A1. (Nisan 2015). *Isıyalıtım mamulleri - Binalar için - Ekstrude polistiren köpüklü (XPS) fabrikasyon mamuller - Özellikler*. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 13495. (2004). *Isı yalıtım malzemeleri - Binalarda kullanılan - Haricî olarak kullanılan kompozit ısı yalıtım sistemleri (etics) - Yüzeye dik doğrultuda kopma direncinin köpük blok deneyi ile tayini*. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 13499. (2006). *Isı yalıtım malzemeleri - Binalarda kullanılan - genleştirilmiş polistiren esaslı haricî kompozit ısı yalıtım sistemleri (etics) - Özellikler*. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1602. (2013). *Isı yalıtım malzemeleri-Binalar için-Görünür yoğunluk tayini*. Türk Standartları Enstitüsü.
- Umaroğulları, F. (2014). *Betonarme Düşey Yapı Kabuğunda Yalıtımın Yerinin Ve Kalınlığının, Nem Denetimi Açısından Deneysel Ve Sayısal Değerlendirmesi [Doktora Tezi]*. Trakya Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Umaroğulları, F., Mıhlayanlar, E., Zorer Gedik , G., & Hasan, S. (2014). Dış Duvarlarda Sıcaklık, Su ve Nem Performansının İncelenmesi. *1.Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi* (s. 309). İstanbul: Yapı Fiziği Derneği.
- Yu, M. L. (2014). *Skins, Envelopes, and Enclosures - Concepts for designing building exteriors*. New York: Routledge.
- Yücesoy, L. (1998). Temeller, Duvarlar, Döşemeler. YEM.
- Zirkebach, D., Schmidt , T., Künzeli, H., Kehrer, M., & Bludau, C. (2010). WUFI 2D Calculation Example Step by Step. Fraunhofer IBP.





ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyadı : Ayşegül Ekşi
Doğum Tarihi ve Yeri : 1989 Adapazarı
E-posta : ayseguleksi@outlook.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER :

- 2013-2015 yılları arasında çeşitli proje ve şantiyelerde görev aldı.
- 2015-2016 yılları arasında Maltepe Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı.
- 2016 yılında Sakarya Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Kaçel, S., Ekşi, A., Yılmaz, Z., "Konut ve Ofis Fonksiyonlu Hacim Örneğinde Yapı Kabuğu Enerji Performansının Karşılaştırmalı Değerlendirmesi", 12. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, Cilt II, 1497-1518, MMO Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi, Nisan 8-11, 2015 İzmir, Türkiye.
- Yılmaz, Z., S. Kaçel ve A. Ekşi, "The Impact of Environmental, Architectural and Occupancy Parameters on Building Energy Performance," *CLIMAMED15*, September 10-11, 2015 Nice, France.